

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA IMPULSAR
AGUA DESDE UNA VERTIENTE HASTA UN TANQUE DE
DISTRIBUCIÓN A 700 M DE DISTANCIA MEDIANTE UN SISTEMA DE
BOMBEO

AUTORES:
FRANKLIN RAMIRO GUAÑA QUILUMBA
EDGAR VIDAL QUISHPE SACANCELA

TUTOR:
RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARZOSA

Quito, agosto del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

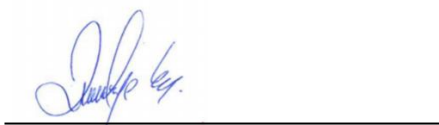
Nosotros, Guaña Quilumba Franklin Ramiro, con documento de identificación N° 171557307-5 y Quishpe Sacancela Edgar Vidal, con documento de identificación N° 171897519-4, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA IMPULSAR AGUA DESDE UNA VERTIENTE HASTA UN TANQUE DE DISTRIBUCIÓN A 700 M DE DISTANCIA MEDIANTE UN SISTEMA DE BOMBEO”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Guaña Quilumba Franklin Ramiro

C.I 171557307-5



Quishpe Sacancela Edgar Vidal

C.I 171897519-4

Quito, agosto de 2018.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA IMPULSAR AGUA DESDE UNA VERTIENTE HASTA UN TANQUE DE DISTRIBUCIÓN A 700 M DE DISTANCIA MEDIANTE UN SISTEMA DE BOMBEO”, realizado por Guaña Quilumba Franklin Ramiro y Quishpe Sacancela Edgar Vidal, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, agosto del 2018.



Quitiaquez Sarsoza René Patricio

C.I 171059726-9

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres que con su apoyo incondicional me han enseñado a no rendirme y a ser perseverante a través de su ejemplo y sabios consejos, a mis hermanos y familiares que de una u otra forma estuvieron presentes.

De manera muy especial a mi esposa Morelia y a mi hija Odalis, por ser el motivo de superación e inspiración en mi vida.

A Edgar, mi compañero y amigo por su apoyo incondicional para lograr finalizar esta meta.

Franklin

El presente trabajo lo dedico a Dios, en primer lugar, por la sabiduría y el conocimiento para culminar un proyecto más en mi vida; también, para mi esposa, quien me ha dado su apoyo incondicional y sus consejos cuando más lo necesitaba; a mis padres, quienes siempre me han dado una mano; a mis hermanos, quienes han sido un ejemplo de perseverancia.

A Franklin, mi compañero y amigo por su apoyo inefable para finalizar esta meta.

Edgar

AGRADECIMIENTO

Agrademos a Dios, a la Universidad Politécnica Salesiana, así como a todos sus colaboradores, por formarnos en sus aulas y compartir sus conocimientos para nuestra vida profesional.

A nuestro distinguido tutor, el ingeniero René Patricio Quitiaquez Sarsoza, por su dirección, tiempo y preparaciones, quien fue de gran aporte durante el desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

También, a la Asociación de Voluntarios “Operación Mato Grosso Ecuatoriana”, quienes nos apoyaron con los recursos económicos necesarios, para la implementación del proyecto.

Así, como a todos los moradores y directivos de la Comunidad de Chami, quienes nos dieron una gran acogida y estuvieron prestos a colaborar con trabajo y organización para que nuestro plan se ejecute con éxito.

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
GLOSARIO	xvii
NOMENCLATURA	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
GENERALIDADES	3
1. Marco teórico.....	3
1.1 Fuentes de agua.....	3
1.1.1 Agua de lluvia.....	3
1.1.2 Aguas superficiales	4
1.1.3 Aguas subterráneas	4
1.2 Selección de alternativas.....	4
1.2.1 Alternativa 1: Bomba centrífuga con motor eléctrico.....	4
1.2.1.1 Funcionamiento.....	5
1.2.1.2 Especificaciones técnicas.....	5
1.2.2 Alternativa 2: Bomba vertical de turbina.....	5
1.2.2.1 Funcionamiento.....	6
1.2.2.2 Especificaciones técnicas.....	6
1.2.3 Alternativa 3: Rueda hidráulica-bomba mecánica.....	7
1.2.3.1 Funcionamiento.....	7
1.2.3.2 Especificaciones técnicas.....	7
1.2.4 Tabla de calificación	8
1.2.5 Tabla comparativa para los diferentes sistemas de bombeo	8

1.3	Energía hidráulica.....	9
1.3.1	Bomba a base de rueda hidráulica	9
1.3.2	Rueda hidráulica	10
1.3.3	Clasificación de las ruedas hidráulicas	10
1.3.3.1	Ruedas con agua por encima o alimentación superior.....	10
1.3.3.2	Ruedas con agua de alimentación intermedia.....	10
1.3.3.3	Ruedas con agua de alimentación inferior	11
1.4	Rueda hidráulica con alimentación superior tipo ZM.....	11
1.4.1	Acción del agua en la rueda hidráulica	11
1.4.2	Parámetros de selección del sistema bombeo hidráulico.....	12
1.4.3	Caudal de agua disponible de la vertiente.....	12
1.4.3.1	Velocidad superficial promedio de la corriente de agua en el río.....	12
1.4.4	Área transversal del río	13
1.4.5	Determinación del caudal del río	13
1.4.6	Fuerza de la corriente del agua en el río	14
1.5	Vertedero de agua.....	15
1.5.1	Desagüe de un líquido por un orificio.....	15
1.5.2	Velocidad teórica del fluido en un orificio	15
1.5.3	Velocidad media del fluido en la tubería	16
1.5.4	Caudal teórico	16
1.5.5	Caudal práctico	16
1.6	Dimensión de la rueda hidráulica	17
1.6.1	Velocidad tangencial de la rueda hidráulica	17
1.6.2	Velocidad angular de la rueda hidráulica.....	17
1.6.3	Velocidad del chorro a la salida de la tobera	17
1.6.4	Diámetro del chorro	18
1.6.5	Diámetro de la tubería perforada desarenador	19
1.6.6	Número de cangilones.....	20
1.6.7	Medidas de los cangilones	20

1.6.8	Eficiencia de la rueda hidráulica.....	21
1.6.9	Potencia con la que el chorro impactada en el álabe	21
1.6.10	Potencia de la rueda hidráulica	21
1.6.11	Torque de rueda hidráulica	22
1.7	Bomba de pistón.....	22
1.7.1	Principio de funcionamiento	22
1.7.2	Aplicación	24
1.7.3	Bomba de émbolo	24
1.7.3.1	Caudal teórico de la bomba de émbolo.....	25
1.7.3.2	Caudal real de la bomba de émbolo	25
1.7.4	Bomba de émbolo de doble efecto.....	25
1.7.4.1	Potencia útil de la bomba de émbolo	26
1.7.4.2	Caudal útil de bomba dúplex (1 cilindro doble efecto).....	26
1.7.5	Altura de bombeo.....	26
1.7.6	Ecuación de la energía	26
1.7.7	Cálculo pérdidas menores	27
1.7.8	Numero de Reynolds.....	27
1.7.9	Cálculo pérdidas mayores	28
1.7.10	Factor de fricción para flujo laminar	28
1.7.11	Factor de fricción para flujo turbulento	28
1.7.12	Rugosidad relativa	29
1.7.13	Presión en la bomba	29
1.7.14	Selección de la bomba por medio de la curva característica	29
1.7.15	Rendimiento de la bomba	32
1.8	Tubería.....	32
1.8.1	Tubería plástica (PVC)	32
1.8.2	Tubería de PVC cédula 40	32
1.8.3	Tamaños nominales de tuberías galvanizadas	33

1.8.4	Tubería de PVC NOVAFORT	34
1.9	Accesorios.....	34
1.9.1	Válvulas	34
1.9.2	Codos y té.....	35
1.9.3	Cálculo de coeficiente K.....	35
CAPÍTULO II		37
GENERALIDADES		37
2.	Rueda-hidráulica	37
2.1	Caudal de ingreso de la vertiente	38
2.1.1	Caudal disponible del río	39
2.1.2	Velocidad del agua a la salida vertedero.....	41
2.1.3	Velocidad media del fluido en la tubería	42
2.1.4	Caudal teórico	42
2.1.5	Diámetro tubería perforada o desarenador.....	43
2.1.6	Velocidad tangencial rueda-hidráulica	43
2.1.7	Velocidad angular de la rueda hidráulica.....	43
2.1.8	Velocidad chorro salida de tobera.....	44
2.1.9	Diámetro del chorro	44
2.1.10	Número álabes	44
2.1.11	Dimensión de los alabes.....	44
2.1.12	Eficiencia de la rueda hidráulica.....	45
2.1.13	Potencia relacionada a entrada del chorro con impacto en álabe.....	45
2.1.14	Potencia rueda-hidráulica.....	46
2.1.15	Torque de rueda hidráulica	46
2.1.16	Selección rueda-hidráulica.....	46
2.2	Altura de bombeo.....	47
2.2.1	Altura física.....	47
2.2.2	Velocidad promedio en la tubería	47

2.2.3	Número de Reynolds.....	48
2.2.4	Pérdidas menores en la succión de la bomba.....	48
2.2.5	Pérdidas menores descarga	50
2.2.6	Pérdidas mayores succión	50
2.2.7	Pérdidas mayores descarga	51
2.2.8	Pérdida de carga por fricción en tuberías.....	52
2.2.9	Total de las pérdidas	52
2.2.10	Altura para bombeo.....	52
2.3	Selección en curva de la bomba ZM Maxxi	52
2.3.1	Caudal útil de la bomba de pistón doble efecto	53
2.3.2	Potencia útil de la bomba de pistón	54
2.3.3	Rendimiento de la bomba	54
2.3.4	Presión de la bomba	54
2.4	Selección de tubería bomba rueda hidráulica - tanque de captación	55
2.5	Selección de tubería captación de río – tanque desarenador.....	55
2.5.1	Dimensiones tanque desarenador.....	55
CAPÍTULO III.....		57
GENERALIDADES		57
3.	Análisis de costo	57
3.1	Costo directo.....	57
3.1.1	Material directo de producción	57
3.1.2	Costo de materia prima para la obra civil	57
3.1.3	Costo de materiales utilizados para transportar agua a la rueda hidráulica .	58
3.1.4	Costo de materiales utilizados en el sistema de bombeo	58
3.1.5	Costo mano de obra y montaje.....	59
3.1.6	Costos indirectos.....	60
3.1.7	Costo total del proyecto	60
3.2	Análisis de costo bomba sumergible vs bomba ZM 51 Maxxi.....	60
3.2.1	Retorno de inversión	61

3.2.2	Fondo neto efectivo FNE	62
3.2.3	VAN (Valor actual neto).....	62
3.2.4	TIR (Tasa interna de retorno)	63
3.2.5	PAY BACK actualizado	64
3.3	Simulación del fluido en la tubería	65
3.3.1	Datos que se ingresan para la respectiva simulación	65
3.3.2	Tabla de coordenadas y puntos de la trayectoria de la tubería	65
3.3.2.1	Trayectoria de la tubería de simulación	66
3.3.3	Punto 1 de salida	67
3.3.4	Curva en el punto 4 de la trayectoria de la tubería	67
3.3.5	Curva en el punto 5 de la trayectoria de la tubería	68
3.3.6	Curva en el punto 6 de la trayectoria de la tubería	68
3.3.7	Curva punto 12 de la trayectoria de la tubería	69
3.3.8	Curva punto 18 de la trayectoria de la tubería	69
3.3.9	Curva punto 22.....	70
3.4	Caudal de llegada al final de la simulación	70
3.5	Caudal de llegada al tanque real....	71
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES	73
	REFERENCIAS	74
	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bombas centrífugas Pedrollo	5
Tabla 2. Bombas centrífugas Grundfos.....	6
Tabla 3. Bombas de rueda ZM Maxxi	8
Tabla 4. Rango de calificación.....	8
Tabla 5. Tabla de valoración comparativa	8
Tabla 6. Tabla de coeficiente de velocidad.....	18
Tabla 7. Propiedades de agua.....	28
Tabla 8. Pérdida de altura por fricción por tubería	30
Tabla 9. Características tubería PVC cédula 40.....	32
Tabla 10. Equivalencia de medida de tubería	33
Tabla 11. Régimen de tubería plástica	33
Tabla 12. Régimen de tubería galvanizada	33
Tabla 13. Rugosidad de tuberías	34
Tabla 14. Especificaciones técnicas tubería PVC Novafort.....	34
Tabla 15. Valor de k para válvulas.....	35
Tabla 16. Valor de k para codos y té 35	35
Tabla 17. Dimensiones y valor factor fricción de tubería.....	36
Tabla 18. Datos disponibles	37
Tabla 19. Requerimientos del proyecto	38
Tabla 20. Datos obtenidos.....	38
Tabla 21. Datos obtenidos en invierno.....	39
Tabla 22. Datos obtenidos en verano	41
Tabla 23. Resultados obtenidos.....	56
Tabla 24. Materiales utilizados en el tanque de captación.....	57
Tabla 25. Materiales utilizados en transporte a la rueda hidráulica.....	58
Tabla 26. Materiales utilizados en el sistema de montaje de la bomba	59
Tabla 27. Costo mano de obra directa.....	59
Tabla 28. Costos indirectos	60
Tabla 29. Costo total del proyecto	60
Tabla 30. Comparación de costos sistema de bombeo.....	60
Tabla 31. Evaluación económica - financiera	61
Tabla 32. Gasto eléctrico.....	61

Tabla 33. Fondo neto efectivo.....	62
Tabla 34. Cálculo VAN.....	62
Tabla 35. Cálculo TIR.....	63
Tabla 36. Tiempo de recuperación de la inversión.	64
Tabla 37. Coordenadas de la tubería de análisis.	65
Tabla 38. Caudal de simulación.	71
Tabla 39. Cantidades de aceite en el carter Bomba ZM Maxxi	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bomba centrífuga	5
Figura 2. Bomba sumergible	6
Figura 3. Bomba ZM Maxxi	7
Figura 4. Bomba a base de rueda hidráulica	9
Figura 5. Rueda Hidráulica	10
Figura 6. Rueda de alimentación superior ZM Maxxi	11
Figura 7. Puntos de alturas diferentes	13
Figura 8. Representación de la medición del caudal	13
Figura 9. Vertedero con orificio redondo	16
Figura 10. Vertedero con tubería perforada	19
Figura 11. Interpretación de altura, ancho y profundidad de álabe.....	20
Figura 12. Cilindro de una bomba de desplazamiento positivo	23
Figura 13. Campo de aplicación de bombas	24
Figura 14. Bomba de émbolo simple efecto	25
Figura 15. Bomba de émbolo de doble efecto	26
Figura 16. Curva característica bomba ZM 44-Maxxi	31
Figura 17. Caudal de la vertiente	39
Figura 18. Tramo río Chami con lluvia.....	39
Figura 19. Tramo río Chami sin lluvia.....	40
Figura 20. Curva característica bomba ZM Maxxi	47
Figura 21. Curva característica bomba ZM Maxxi 51	53
Figura 22. Tanque desarenador	55
Figura 23. Gráfica para cálculo del TIR.....	63
Figura 24. Trayectoria tubería.....	66
Figura 25. Análisis de velocidad del fluido en punto de salida	67
Figura 26. Análisis de velocidad del fluido en punto 4	67
Figura 27. Análisis de velocidad del fluido en punto 5	68
Figura 28. Análisis de velocidad del fluido en punto 6	68
Figura 29. Análisis de velocidad del fluido en punto 12	69
Figura 30. Análisis de velocidad del fluido en punto 18	69
Figura 31. Análisis de velocidad del fluido en punto 22	70
Figura 32. Llenado del tanque con el sistema de bombeo	71

Figura 33. Vista del proyecto.	80
Figura 34. Captación agua del río.	80
Figura 35. Tubería de conducción del agua al tanque desarenador.	81
Figura 36. Montaje rueda hidráulica y bomba.	81
Figura 37. Escavación de zanja para de tubería conducción.....	82
Figura 38. Conexión válvula check con tubo de salida de aire.	82
Figura 39. Llegada de la tubería al tanque de distribución por gravedad.	83
Figura 40. Ingreso agua de la vertiente.	83
Figura 41. Prueba de llenado tanque desarenador.....	84
Figura 42. Caída de agua a la rueda hidráulica.	84
Figura 43. Funcionamiento del sistema.	85
Figura 44. Medición caudal agua de llegada al tanque.	85
Figura 45. Retiro tapón de aceite B	87
Figura 46. Retiro tapón de aceite A	87
Figura 47. Sistema de bombeo.	88
Figura 48. Sistema de válvulas Maxxi	89
Figura 49. Sistema de válvulas otros modelos	89

RESUMEN

Este proyecto tiene como propósito, el diseño e implementación de una rueda hidráulica que accione una bomba de pistón, para bombear 190 MCA, hasta un tanque de distribución ubicado a 700 m, aprovechando la energía cinética del agua y el trabajo para convertir en energía potencial.

Se realiza un análisis de alternativas, tomando como referencia tres sistemas de bombeo que cumplan los objetivos requeridos, eligiéndose la más eficiente que utilice energías renovables, mediante el método seleccionado se establece los conceptos y fórmulas. Con las consideraciones anteriores, se determinó todos los parámetros necesarios para la selección del diámetro de la rueda, así como: caudal, velocidad y el salto hidráulico, para el diseño del tanque desarenador, y la captación en el río.

Para encontrar la altura total, se consideró la altura geodésica, medida por puntos topográficos, más el total de las pérdidas por fricción en todo el sistema, con las RPM de la rueda y altura total de bombeo se escoge la curva de la bomba, que satisfaga la demanda requerida, así mismo se estableció la presión en PSI para seleccionar la tubería adecuada.

Se determinan los costos directos e indirectos para la ejecución y construcción del proyecto, ante los datos obtenidos se puede comparar su costo y beneficio, con el sistema actual de bombeo, y con un análisis del VAN y TIR se calcula el tiempo que se recupera la inversión. También incluye un análisis por simulación, del comportamiento del fluido en la tubería de descarga, utilizando el software SOLIDWORKS 2017, una vez completo el estudio, se procedió con el montaje del sistema y se determinó que el proyecto entrega 10080 litros de agua en 24 h, beneficiando a 200 personas de la comunidad de Chami para su consumo. Finalmente incluye, recomendaciones y un manual detallado de mantenimiento y operación para alargar la vida útil del sistema utilizado.

Palabras claves: energía cinética, energía potencial, salto hidráulico, rueda hidráulica, caudal, altura total de bombeo, energías renovables.

ABSTRACT

The purpose of this project is the design and implementation of a hydraulic wheel that drives a piston pump, to pump 190 MCA, to a distribution tank located at 700 m, taking advantage of the kinetic energy of the water and work to convert it into potential energy.

An analysis of alternatives is done, taking as reference three pumping systems that meet the required objectives, choosing the most efficient one that uses renewable energies, by means of the selected method the concepts and formulas are established. With the above considerations, all the parameters necessary for the selection of the wheel diameter were determined, also the flow, speed and hydraulic jump, for the design of the sand trap, and the uptake in the river.

To find the total height, we considered the geodesic height, measured by topographic points, plus the total of friction losses throughout the system, with the wheel RPM and total pump height, the pump curve is picked, which satisfies the required demand, and the PSI pressure was established to select the appropriate pipe.

The direct and indirect costs for the execution and construction of the project are determined, in view of the data obtained, their cost and benefit can be compared with the current pumping system and with an analysis of the VAN and TIR, the time that is recovered is calculated investment. It also includes a simulation analysis of the behavior of the fluid in the discharge pipe, using the SOLIDWORKS 2017 software, once the study was complete, the system was mustered and the project was determined to deliver 10080 liters of water in 24 hours, benefiting 200 people from the Chami community for consumption. Finally, it includes recommendations and a detailed maintenance and operation manual to extend the useful life of the system used.

Keywords: kinetic energy, potential energy, hydraulic jump, hydraulic wheel, flow, total pumping height, renewable energies.

GLOSARIO

Altura de bombeo: Es la suma de la altura geodésica más la altura por pérdidas, que suministra la bomba, es independiente del peso específico del líquido y se expresa en metros de columna de agua (MCA) [1].

Bomba hidráulica: Se encarga de transformar la energía mecánica a energía potencial de un fluido incompresible al aumentar la energía de este fluido, también incrementa su altura, su velocidad o su presión. Las bombas hidráulicas se emplean para desplazar el fluido desde un punto de menor altitud hacia otro con mayor altitud [2].

Caudal: Es el volumen del líquido que pasa a través de una cierta sección transversal, en un tiempo determinado, su medida en el sistema internacional es m^3/s [2].

Cangilón: Es un recipiente usado para transportar agua o materiales sólidos, como complemento motoriz, se fabrican de plástico, madera o metal las medidas básicas que define un por son largo, profundidad y proyección [3].

Carga dinámica: Es la carga que se aplica en un instante puede realizar modificaciones en la magnitud, dirección y movimiento [4].

Carga estática: Estudia el comportamiento y efectos de los líquidos en reposo, se considera el peso exclusivamente [4].

Carga radial: Son aquellas que se aplican en ángulo recto (perpendicular) con respecto al eje, cuando los mecanismos transmiten el movimiento [4].

Distancia de bombeo: Recorrido vertical del agua bombeada, medida desde el nivel del suelo hasta el borde superior del tanque de almacenamiento [4].

Energías renovables: Se adquiere de fuentes naturales virtualmente inagotables, del medio ambiente, se clasifican en eólica, geotérmica, hidroeléctrica y solares.

Energía cinética: Se asocia al movimiento que poseerá cualquier cuerpo, depende de la masa y la rapidez que presenten el mismo.

Energía potencial: Es aquella que posee el elemento del fluido, como consecuencia de la posición gravitacional, debido a su elevación respecto a la cota de referencia [2].

Rueda hidráulica: Son instalaciones que aprovechan la caída del agua a las paletas para transmitir un movimiento giratorio que permite, transformar la energía cinética en trabajo mecánico [5].

Salto hidráulico: Es un fenómeno local, que se presenta en el flujo precipitadamente variado, el cual va acompañado por un aumento repentino y una pérdida de energía bastante considerable, es decir cambia de un valor inferior al crítico a otro superior a este, cuando en una corriente rápida existe algún obstáculo o un cambio brusco de pendiente. Esto sucede al pie de estructuras hidráulicas tales como vertederos [6].

Vertiente: Es un lugar por donde corre el agua, suele tratarse de una superficie topográfica inclinada, puede tener distintos perfiles, de acuerdo a la acción de la erosión y a las características rocosas del terreno [7].

Vertedero hidráulico: Es un dique o pared de estructura hidráulica que intercepta la corriente, causando una elevación del nivel aguas arriba, se utiliza para el control de nivel y medición de caudales [2].

Velocidad angular: Es una medida de la velocidad de rotación, se define como la cantidad de giros, revoluciones, vueltas o ciclos que un punto da en un determinado tiempo [5].

Velocidad tangencial: Es la velocidad real de un punto que gira con un movimiento circular de radio constante, es igual a la velocidad angular por el radio.

A mayor radio y a la misma cantidad de vueltas por segundo, el móvil recorre una trayectoria mayor, porque el perímetro de esa circunferencia es mayor y por lo tanto la velocidad tangencial también es mayor [5].

NOMENCLATURA

A = área de la sección transversal
 B = altura del álabe
 C = ancho del álabe
 $\cos \beta$ = ángulo de inclinación de alabe
 D_r = diámetro de la rueda hidráulica
 D = diámetro tubería
 d = diámetro del chorro
 e = eficiencia
 F_{agua} = fuerza del agua
 F_x = potencia con la que el chorro impactada en el álabe
 FNE = fondo neto efectivo
 f = frecuencia angular de la rueda
 f_t = factor de fricción
 g = gravedad
 H_{TOTAL} = altura total de la bomba
 h_B = energía añadida
 H = altura de la superficie al centro del orificio
 h_L = pérdidas menores
 h_{ft} = pérdida de altura por fricción en la tuberías
 H_{TP} = altura total por pérdidas
 H_T = pérdidas totales por fricción
 H_{ft} = pérdida de carga por fricción
 K = coeficiente de resistencia
 K_f = factor de corrección
 K_{co} = coeficiente de velocidad
 K_u = coeficiente de rendimiento
 L_t = longitud de la tubería
 m = masa
 N_R = número de Reynolds
 η_r = rendimiento de la rueda
 P_b = potencia de la bomba
 P_r = potencia de la rueda hidráulica

P_{bomba} = presión de la bomba

Q = caudal

Q_r = caudal del río

Q_p = caudal práctico

Q_t = caudal teórico

T = torque de rueda hidráulica

TIR = tasa interna de retorno

t = tiempo

V = volumen

ρ = densidad del agua

v_r = velocidad del río

v_f = velocidad del fluido

V_0 = velocidad del chorro

V_t = velocidad tangencial

\tilde{V} = velocidad media

VAN = valor actual neto

X = profundidad del álabe

x = coeficiente por pérdida por fricción

N = número de cazoletas

$Z_1; Z_2$ = alturas geodésicas

θ = ángulo de salida del chorro

ω = velocidad angular

γ = viscosidad cinética

μ = viscosidad dinámica

\mathcal{E} = rugosidad del material

INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente trabajo de titulación, es implementar un sistema alterno de bombeo de agua, que utiliza el caudal del río disponible, mediante una captación que desvía parte del agua a un tanque desarenador, el mismo que al caer el agua en los cangilones hace girar la rueda hidráulica, para dar movimiento a los pistones de una bomba recíprocas, logrando así, trasladar el agua desde un tanque de almacenamiento de la vertiente hasta un tanque repartidor por gravedad, que se encuentra a 190 m de altura y 700 m de distancia, con el mínimo uso de corriente eléctrica.

Es necesario mantener un diseño apropiado, para determinar el caudal requerido y la altura total con sus respectivas pérdidas, para la selección del modelo adecuado en los catálogos disponibles por el proveedor.

Para cumplir con los objetivos planteados se realizara un análisis de alternativas que existen en el mercado y se selecciona la que mejor se acople al sistema, también se realiza una investigación de costos, de tal manera que sea viable, el proyecto y tenga la garantía de recuperar la inversión, así como también tener acceso a los repuestos para su respectivo mantenimiento.

Los cálculos obtenidos, permitirán verificar el caudal diario, que aporta al sistema actual, reduciendo así el tiempo de encendido de las bombas sumergibles eléctricas de 15 HP que se encuentran actualmente para este fin, para obtener una reducción del consumo eléctrico y por ende beneficiara a los pobladores de la comunidad de Chami, que es el objetivo principal en este estudio.

El objetivo general es diseñar e implementar un sistema para impulsar agua, desde una vertiente hasta un tanque de distribución a 700 metros de distancia mediante un sistema de bombeo.

Los objetivos específicos son:

- a. Diseñar un sistema de bombeo para trasladar agua desde una vertiente hasta un tanque de distribución.

- b. Determinar la rueda hidráulica requerida de acuerdo al caudal del río existente en el sector de Chami.
- c. Implementar la rueda hidráulica y la bomba de pistón requerido, para el bombeo de agua hasta el tanque de distribución.
- d. Alcanzar un caudal mínimo de bombeo aproximado de 3,8 lt/min, a una distancia aproximada de 700 metros.
- e. Analizar el costo y beneficio de la implementación del sistema y comparar el ahorro alcanzado en un año.

El proyecto buscará implementar un sistema alternativo que utilice la menor cantidad de electricidad en comparación con el proyecto actual esto permitirá disminuir costos volviéndolo accesible para más usuarios.

La determinación de la bomba hidráulica en primera opción ZM permitirá el traslado de agua, desde la vertiente hasta el tanque de distribución por gravedad, logrando un ahorro económico a la Comunidad de Chami.

El estudio será seleccionado partiendo de la investigación de bombas hidráulicas que posean el mismo principio de funcionamiento por energías renovables. La generación de planos y obtención de datos mediante la ayuda de un software y levantamiento topográfico. La selección de la bomba en catálogos existentes en el mercado.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

El propósito de este estudio, es la selección de una rueda hidráulica que accione una bomba de pistón para bombear agua a 190 metros de altura, con este sistema se aprovecha la energía motriz del agua, con una rueda de alimentación superior para reducir el consumo eléctrico.

El capítulo I, describe los tipos de fuentes de agua, se realiza una tabla de comparación con tres tipos de sistemas de bombeo de agua y su respectiva selección más eficiente que utilice energía renovable, se determina los conceptos y fórmulas requeridos que se aplican para dimensionar una rueda hidráulica con la bomba de pistón para obtener los datos necesarios para su respectiva selección por catálogos.

1. Marco teórico

1.1 Fuentes de agua

Los nacimientos de agua constituyen un elemento importante en el diseño de un sistema de suministro de agua. De acuerdo a la topografía de la fuente de abastecimiento, se consideran dos tipos de sistemas:

Por gravedad la fuente debe estar ubicada en la parte superior y por bombeo la fuente debe estar ubicada en la parte inferior de la población. Es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes [1].

Para el diseño del proyecto se va a utilizar el sistema de bombeo, porque la fuente de agua se encuentra en la parte inferior del tanque de almacenamiento.

1.1.1 Agua de lluvia

Para la obtención del agua lluvia se utiliza las cubiertas de casas o superficies impermeables, cuya capacidad depende del gasto demandado y del régimen pluviométrico [1].

1.1.2 Aguas superficiales

Están constituidos por los ríos, lagos, que fluyen naturalmente en el área terrestre, estas fuentes no son tan deseables, si existen en zonas habitadas o de pastoreo de animales aguas arriba, sin embargo a veces no existe otra opción en la comunidad, siendo necesario el uso de esta fuente [1].

1.1.3 Aguas subterráneas

Es la precipitación de agua lluvia que se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, que está situada arriba de una capa aislada donde se acumula el agua, formando así las aguas subterráneas. El usufructo de estas aguas dependerá de las características hidrológicas [1].

1.2 Selección de alternativas

Se realizará una comparación entre tres tipos de bombas con los siguientes parámetros para la selección de bombas:

- a) Capacidad requerida
- b) Especificaciones en línea de succión y descarga de la bomba
- c) Condiciones geográficas.
- d) Menor costo
- e) Dimensiones de la bomba
- f) Menor mantenimiento
- g) Facilidad de operación
- h) No utilización de combustibles o energía eléctrica

1.2.1 Alternativa 1: Bomba centrífuga con motor eléctrico

Son bombas centrífugas que añaden energía al fluido, se utiliza en la superficie exterior del sistema y está provista de un conjunto de aspas rotatorias, encerrada dentro de una caja o coraza [2], como se observa en la Figura 1.

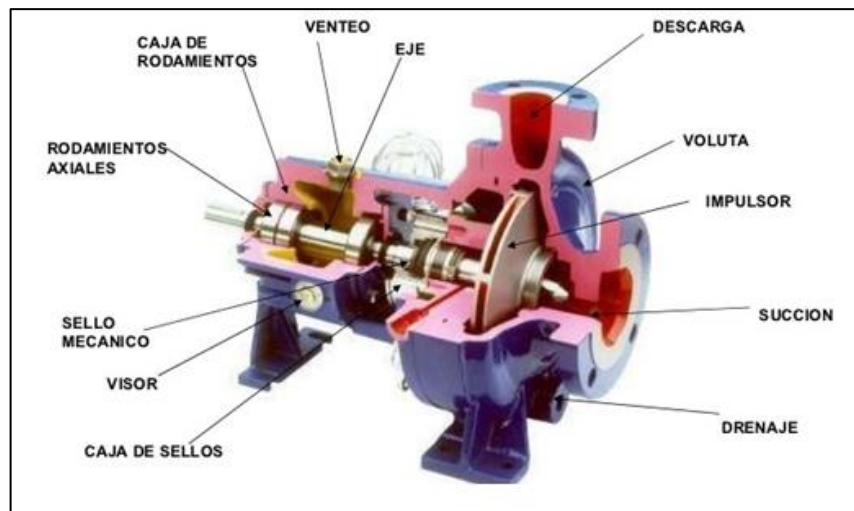


Figura 1. Bomba centrífuga [2]

1.2.1.1 Funcionamiento

El líquido es llevado al centro del impulsor, después es lanzado por las aspas hacia afuera, al salir pasa por la voluta en forma de espiral, y en forma gradual ocasionando que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido.

1.2.1.2 Especificaciones técnicas

En la Tabla 1 se plantea diferentes modelos de bombas centrífugas de marca Pedrollo.

Tabla 1
Bombas centrífugas Pedrollo [3]

Modelo	PKm 60	PKm 65	PKm 70
Potencia	0.5 Hp	0.7 Hp	0.85 Hp
Tensión	110 V	110 V	110 V
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Altura manométrica	38 m	50 m	62 m
Capacidad	5 l/min	5 l/min	5 l/min
Temperatura	0-60 °C	0-60 °C	0-60 °C

1.2.2 Alternativa 2: Bomba vertical de turbina

Para que el bombeo de un fluido se realice mejor en un tanque se lo hace mediante la bomba vertical de turbina, como se observa en la Figura 2.

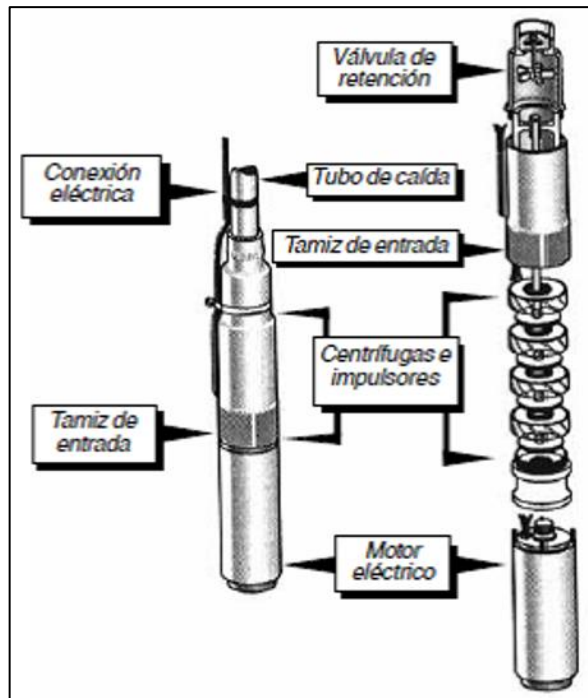


Figura 2. Bomba sumergible [4]

Su operación se lo realiza en pozos profundos, cisternas, en barriles encapsulados. La bomba sumergible es ideal para transportar aguas subterráneas, cuenta con una construcción de acero inoxidable para la resistencia a la corrosión [5].

1.2.2.1 Funcionamiento

Esta bomba está provista de un motor, que transmite movimiento a través de un eje vertical a los impulsores centrífugos, la bomba que se encuentra dentro del líquido bajo la superficie [6].

1.2.2.2 Especificaciones técnicas

En la Tabla 2 se plantea diferentes modelos de bombas sumergibles de marca Grundfos.

Tabla 2
Bombas sumergibles Grundfos [7]

Modelo	5S15-31	40S100-30	85S150-10
Potencia	1.5 Hp	10 Hp	15 Hp
Tensión	230 V	460 V	230 V
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Altura manométrica	160 m	182 m	120 m
Capacidad	5 gpm	40 gpm	85 gpm
Temperatura	0-60 °C	0-60 °C	0-60 °C

1.2.3 Alternativa 3: Rueda hidráulica-bomba mecánica

Utiliza la energía cinética del agua, que puede ser un río. No requiere energía convencional como (electricidad, derivados de petróleo). El peso del agua sobre los cangilones hace girar a una rueda como se muestra en la Figura 3, está provista de un eje que se acopla a una bomba de pistón de doble efecto [8].



Figura 3. Bomba ZM Maxxi [8]

1.2.3.1 Funcionamiento

El trabajo es muy sencillo y en la mayoría de los casos es el mismo, se desvía parte del agua de río por medio de un canal hasta la rueda. El caudal del río, debe tener una velocidad considerable, choca contra las palas, ejerciendo una fuerza que permite el movimiento continuo de la rueda [8].

El movimiento es trasladado a un eje, que hace girar a una bomba, la cual absorbe agua de vertiente, para luego impulsarla a un tanque de almacenamiento, reservorio, terreno, casa, etc.

1.2.3.2 Especificaciones técnicas

En la Tabla 3 se plantea diferentes modelos de bombas con rueda hidráulica marca ZM tipo Maxxi.

Tabla 3
Bombas de rueda ZM Maxxi [9]

Modelo	ZM 44 Maxxi	ZM 51 Maxxi	ZM 63 Maxxi
Altura manométrica (m)	180 m	190 m	150 m
Capacidad	2600 lt/día	6800 lt/día	6300 lt/día
Temperatura	0-60 °C	0-60 °C	0-60 °C

1.2.4 Tabla de calificación

Para establecer una tabla de valoración que permita analizar los detalles de diferentes sistemas de bombeo y seleccionar la adecuada, se aplica la siguiente estimación como se proyecta en la Tabla 4.

Tabla 4
Rango de calificación

Escala comparación	Valoración
Muy Bajo	1-2
Bajo	3-4
Moderado	5-6
Alto	7-8
Muy Alto	9-10

Elaborado por: Franklin Guña y Edgar Quishpe

1.2.5 Tabla comparativa para los diferentes sistemas de bombeo

Para la comparación se realiza la siguiente valoración en la Tabla 5.

Tabla 5
Tabla de valoración comparativa

Parámetros	Alternativa 1 Bomba Centrífuga	Alternativa 2 Bomba Sumergible	Alternativa 3 Bomba Zm	Ideal
Capacidad requerida	6	6	8	10
Especificaciones líneas de succión y descarga	7	7	8	10
Condiciones geográficas	5	5	8	10
Costos	6	6	8	10
Dimensiones de la bomba	7	5	7	10
Mantenimiento	5	6	7	10
Facilidad de operación	7	7	8	10
No utiliza combustibles o energía eléctrica	5	5	9	10
SUMA TOTAL	48	47	63	80
PORCENTAJE	60 %	58,75 %	78,75 %	100 %

Elaborado por: Franklin Guña y Edgar Quishpe

Con estos parámetros de balance realizados en la tabla 5, luego de estudiar los tres métodos de bombeo, se procede a escoger la alternativa 3 de bomba con rueda mecánica con el 78.75 %, porque el mantenimiento y la operación son de bajo costo, además esta alternativa aprovecha la energía renovable disponible en el lugar de estudio.

1.3 Energía hidráulica

Se obtiene del flujo o salto de agua naturales, que aprovecha la energía cinética y potencial del flujo de agua, que mueve una turbina para aprovechar esa energía [10].

1.3.1 Bomba a base de rueda hidráulica

Es una máquina ver figura 4, que aprovecha la energía hidráulica producida por el peso del agua en los cajones de una rueda metálica, este peso del agua hace que la rueda gire y mediante el uso de un punto excéntrico (3) en un disco metálico (1), se produce el movimiento de dos pistones (4) que en términos prácticos funcionan como jeringas succionando e impulsando el agua a través de las válvulas de retención (7 y 8) las que permiten el paso a la cápsula de aire o caballete y de este a la tuberías de bombeo [11].

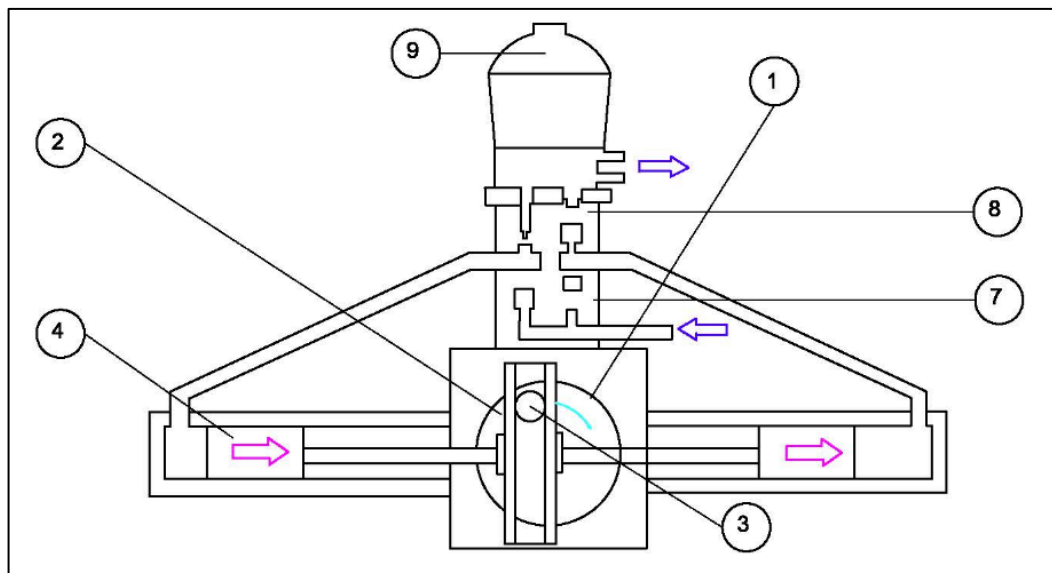


Figura 4. Bomba a base de rueda hidráulica [11]

1.3.2 Rueda hidráulica

La rueda hidráulica es el elemento generador de potencia para la bomba de pistón, está constituida por cangilones que deberá contar con la resistencia suficiente para resistir dicha fuerza ver Figura 5. La velocidad y caudal del agua que choca por la parte superior a las palas debe ser considerable, ejerciendo una fuerza que permite el movimiento continuo de la rueda para transmitir el trabajo a la bomba [12].

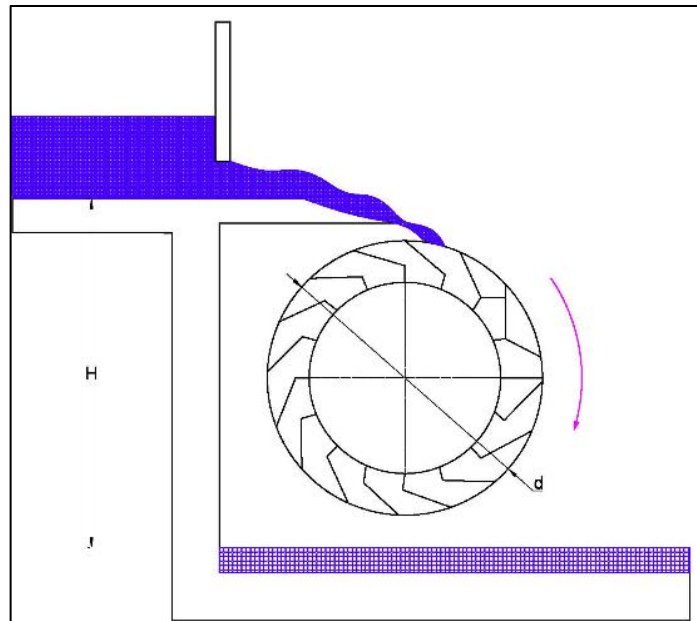


Figura 5. Rueda Hidráulica [13]

1.3.3 Clasificación de las ruedas hidráulicas

Las ruedas hidráulicas de eje horizontal son las más comunes y su clasificación es la siguiente.

1.3.3.1 Ruedas con agua por encima o alimentación superior

La rueda gira por el peso del agua que llega desde arriba, el sentido de rotación es horario a las manecillas del reloj ver figura 5, (rendimiento bastante alto entre 0.60 a 0.90) [12].

1.3.3.2 Ruedas con agua de alimentación intermedia

Recibe el agua aproximadamente a la altura del eje de los alabes, denominados cangilones son llenados de líquido hasta alcanzar el peso necesario para que por efecto

de la gravedad impulse el giro de la rueda, su rendimiento es menor, oscila entre (0.65 al 0.70) [14].

1.3.3.3 Ruedas con agua de alimentación inferior

Aprovechan la corriente del agua directa, no hace uso del peso del mismo, en lugar de eso, depende del caudal de la fuente de agua, su rendimiento es muy bajo esta entre (0.25 a 0.35) en el caso de un canal de alimentación forzado [14].

De la clasificación de las ruedas hidráulicas, se toma como estudio la rueda de alimentación superior ver Figura 6, porque es la más eficiente y puede alcanzar grandes altura y distancia de bombeo.

1.4 Rueda hidráulica con alimentación superior tipo ZM

En la Figura 6 se puede observar una rueda ZM con alimentación superior que se utiliza en el sistema de bombeo de agua.

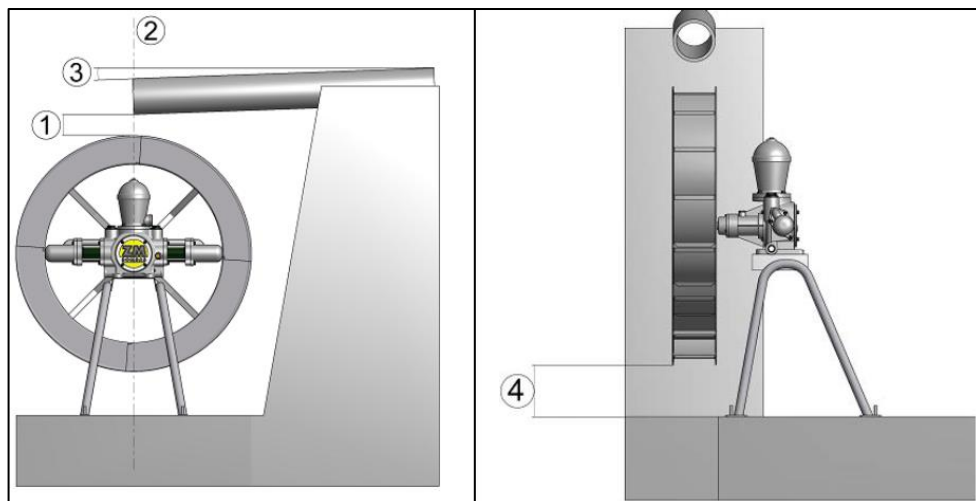


Figura 6. Rueda de alimentación superior ZM Maxxi [15]

1.4.1 Acción del agua en la rueda hidráulica

El fluido ingresa por la parte superior como se indica en la Figura 6, que es conducido por un tubo de alimentación que está aproximadamente a 10 cm por encima de la rueda (1) la posición del tubo de alimentación de agua queda en el centro de la rueda (2), la inclinación del tubo es del 3 a 5 % de la longitud del tubo de alimentación de agua y la distancia de la rueda a la base del piso es de 10 a 20 cm (4) [15].

1.4.2 Parámetros de selección del sistema bombeo hidráulico

Los parámetros que se detallan a continuación están tomados como referencias de tesis y estudios previos realizados para este mismo fin [15].

- a) Caudal de agua disponible del río.
- b) Salto hidráulico: altura desde la captación de agua hasta la rueda hidráulica medida en metros, a mayor es el salto hidráulico, mayor es el potencial energético para un mismo caudal y menor será el diámetro de la rueda requerida.
- c) Altura de bombeo: distancia vertical desde el tanque de succión hasta el tanque de distribución medida en metros.
- d) Distancia de bombeo: recorrido longitudinal que realiza el agua bombeada desde la rueda hasta el tanque de distribución medida en metros.
- e) Caudal requerido: medida en litros por día para el consumo de cada usuario.

1.4.3 Caudal de agua disponible de la vertiente

Existen varios métodos experimentales que deben ser repetitivos para sacar un caudal promedio resultante [16].

Para determinar el caudal se emplea la Ecuación 1.

$$Q = A \cdot v_r = V/t \quad (1)$$

Donde:

Q = caudal o gasto (m^3/s ; l/s)

A = área de la sección transversal (m^2)

V_r = velocidad superficial promedio del río (m/s)

V = volumen (m^3)

t = tiempo (s)

1.4.3.1 Velocidad superficial promedio de la corriente de agua en el río

Para determinar la velocidad se toma cinco tiempos diferentes de la corriente de agua y se divide la longitud de la sección elegida por el tiempo promedio que el flotador tarda en recorrerla [16].

$$v_r = \frac{l_s}{t_{pr}} \quad (2)$$

Donde:

l_s = largo de la sección (m)

t_{pr} = tiempo promedio recorrido (s)

1.4.4 Área transversal del río

Para determinar la sección transversal A en (m^2) se multiplica el ancho (B) por la altura promedio de la sección seleccionada del río [16], como se puede ver la Figura 7.

$$A_r = B \cdot H_{\text{promedio}} \quad (3)$$

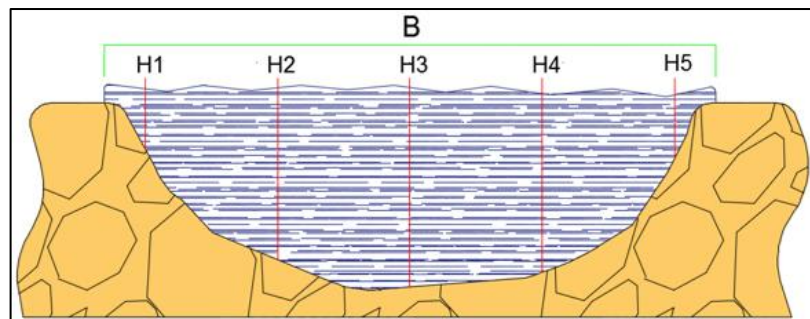


Figura 7. Puntos de alturas diferentes

1.4.5 Determinación del caudal del río

Con este método como se observa en la Figura 8, se mide la velocidad del agua superficial del río, tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme, previamente definido la distancia entre ambos puntos [16].

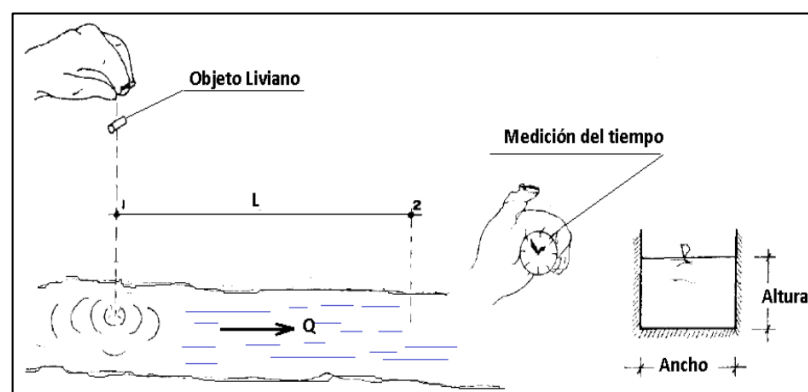


Figura 8. Representación de la medición del caudal [16]

Cuando la profundidad del agua es menor a 1 m y rocoso, la velocidad promedio se considera el 80 % de la velocidad superficial. Se usa para caudales mayores a 10 lt/s [16].

El caudal se determina con la siguiente fórmula [16]:

$$Q_r = 800 \cdot v_r \cdot A_r \quad (4)$$

Donde:

Q_r = caudal del río (lt/s)

A_r = área de la sección transversal (m^2)

v_r = velocidad superficial promedio del río (m/s)

1.4.6 Fuerza de la corriente del agua en el río

Para determinar la magnitud de esta fuerza, se parte de lo siguiente [13]:

$$F = m \cdot a \quad (5)$$

Donde:

F = Fuerza (N)

a = aceleración (m/s^2)

m = masa (kg)

También se conoce que $\rho = \frac{m}{V}$ despejado V ; queda $V = \frac{m}{\rho}$, se reemplaza en la Ecuación

(1) y se despeja m :

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{m}{\rho t} \Rightarrow m = Q \cdot \rho \cdot t$$

Como conocimiento básico se conoce que:

$$a = \frac{v_1 - v_2}{t}$$

Se analiza como si fuese una turbina que alcanza su máximo rendimiento cuando la velocidad de salida v_2 es nula, se tiene:

$$a = \frac{v_1}{t}$$

Se reemplaza en la ecuación de la fuerza:

$$F = m \cdot a$$

$$F = Q \cdot \rho \cdot t \cdot \frac{v_1}{t}$$

Simplificando se obtiene la Ecuación 6, para calcular la fuerza del agua [13].

$$F_{\text{agua}} = Q_r \cdot \rho \cdot v_r \quad (6)$$

Donde:

F_{agua} = fuerza del agua (N)

ρ = densidad del agua (kg/m^3)

Q_r = caudal del río (lt/s)

v_r = velocidad superficial promedio del río (m/s)

1.5 Vertedero de agua

Es un dique o pared que intercepta la corriente, causando una elevación del nivel de aguas arriba, se emplea para control de nivel y medición de caudales [17].

1.5.1 Desagüe de un líquido por un orificio

Es un orificio o abertura en la pared de un depósito (orificio lateral o de fondo) o en una tubería por donde circula un fluido como se indica en la Figura 9, la forma puede ser circular, rectangular, etc. [17].

1.5.2 Velocidad teórica del fluido en un orificio

Se aplica la ecuación de velocidad de Torricelli [18].

$$v_f = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (7)$$

Donde:

v_f = velocidad del fluido (m/s)

g = gravedad (m/s^2)

H = altura de la superficie al centro del orificio (m)

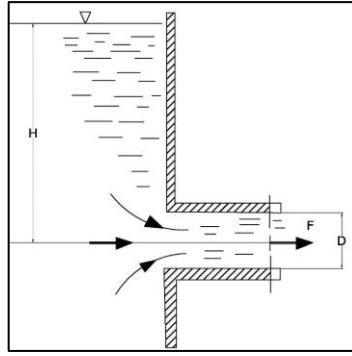


Figura 9. Vertedero con orificio redondo [19]

1.5.3 Velocidad media del fluido en la tubería

Por a la adherencia y rozamiento interno en las paredes del conductor del fluido, la velocidad superficial es mayor que la media, como norma aproximada para cálculos se tiene [20]:

$$\tilde{V} = K_f \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (8)$$

Donde:

\tilde{V} = velocidad media del fluido (m/s)

K_f = factor de corrección (0.8)

1.5.4 Caudal teórico

$$Q_t = A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (9)$$

Donde:

Q_t = caudal teórico

A = área de la sección del orificio (m^2) [21].

1.5.5 Caudal práctico

$$Q_p = m \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (10)$$

Donde:

Q_p = caudal practico

m = Valor del Coeficiente debido a la forma del orificio de salida [21].

Orificios cilíndricos sin tubo adicional: $m = 0.625$

Orificios cilíndricos con tubo adicional del mismo diámetro: $m = 0.820$

1.6 Dimensión de la rueda hidráulica

Las dimensiones que se considera en la rueda hidráulica es: el diámetro, número de alabes, ancho, altura geodésica y caudal disponible.

1.6.1 Velocidad tangencial de la rueda hidráulica

Se utiliza la siguiente ecuación [17]:

$$V_t = K_u \cdot \hat{V} \quad (11)$$

Donde:

V_t = velocidad tangencial rueda (m/s)

K_u = coeficiente de rendimiento (0.50) para turbinas de reacción, en este caso se analiza con el principio de la turbina Pelton.

1.6.2 Velocidad angular de la rueda hidráulica

$$\omega = \frac{V_t \cdot 60}{\pi \cdot D_r} \quad (12)$$

Donde:

ω = velocidad angular (rev/min)

D_r = diámetro de la rueda hidráulica (m) [22]

1.6.3 Velocidad del chorro a la salida de la tobera

Para encontrar la velocidad del chorro que impacta el alabe se debe utilizar la ecuación según estudios realizados [17]:

$$V_o = K_{co} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (13)$$

Donde:



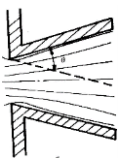
V_o = velocidad del chorro (m/s)

K_{co} = coeficiente de velocidad a salida del orificio (0.98) tablas 6 [17].

g = gravedad (m/s^2)

H = salto hidráulico (m)

Tabla 6
Coeficientes de velocidad [17]

Descripción	Orificio general	Orificio sumergido	Boquilla de borda
FIGURA			
Coeficiente velocidad K_{co}	0,98	0,98	0,96

1.6.4 Diámetro del chorro

El diámetro del chorro está en función de la velocidad del chorro y del caudal práctico.

$$Q_p = V_0 \cdot A_{\text{tubo}}$$

$$Q_p = V_0 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Despejar d y se obtiene la fórmula para encontrar el diámetro del chorro:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot V_0}} \quad (14)$$

Donde:

A_{tubo} = área del tubo de conducción (m^2)

d = diámetro del chorro (m)

V_0 = velocidad del chorro (m/s)

Q_p = caudal práctico (m^3/s)

1.6.5 Diámetro de la tubería perforada desarenador

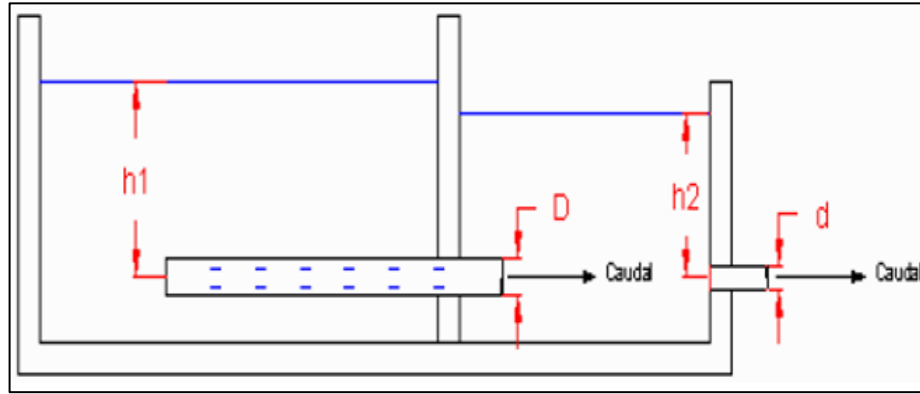


Figura 10. Vertedero con tubería perforada [23]

Como se puede ver en la Figura 10, se instala tubos perforados (D) que comunica al segundo tanque lateral, para retener paso de sólidos o basuras que afecte a la rueda [23].

$$Q = m \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h1 - h2)} \quad (15)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (16)$$

Donde:

Se reemplaza la Ecuación 16 en la Ecuación 15 y se despeja el diámetro, se tiene la Ecuación 17.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h1 - h2)}}} \quad (17)$$

Donde:

Q = Caudal salida vertedero (lt/s)

m = constante de flujo = 0.82

A = área de la tubería (D) (m²)

h1 = elevación desde el centro de la tubería perforada a la superficie (m)

h2 = elevación desde el centro de la tubería de salida a la superficie (m)

1.6.6 Número de cangilones

Para establecer el número de cangilones se utiliza la Ecuación 18 [23]:

$$N = 15 + \frac{D}{2 \cdot d} \quad (18)$$

Donde:

N = número de cangilones

D = diámetro Pelton (m)

d = diámetro del chorro (m)

1.6.7 Medidas de los cangilones

Para obtener las dimensiones dependen del diámetro del chorro y se puede encontrar el rango para la profundidad (X), altura (B) y el ancho (C), ver Figura 11 para lo cual se aplica la siguiente ecuación [23]:

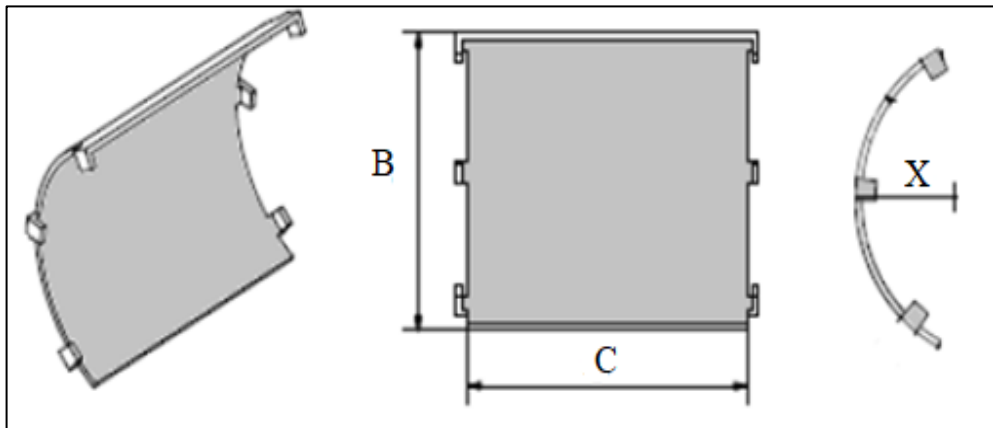


Figura 11. Interpretación de altura, ancho y profundidad de álabe

$$X = [0.8 \text{ a } 1] \cdot d \quad (19)$$

$$B = [2.25 \text{ a } 2.8] \cdot d \quad (20)$$

$$C = [2.6 \text{ a } 3] \cdot d \quad (21)$$

Donde:

X = profundidad del álabe (m)

B = altura del álabe (m)

C = ancho del álabe (m)

1.6.8 Eficiencia de la rueda hidráulica

Se determina mediante la ecuación general de turbinas expresada de la siguiente Ecuación:

$$\eta_r = 2 \cdot K_{co}^2 \cdot K_u (1 - K_u) \cdot (1 + K_f \cos\beta) \quad (22)$$

Donde:

η_r = eficiencia rueda hidráulica (adimensional)

K_{co} = Coeficiente de velocidad a la salida de la tobera (adimensional)

K_u = Coeficiente de velocidad tangencial rueda (adimensional)

K_f = Coeficiente de pérdida de la tubería (adimensional)

$\cos\beta$ = ángulo de inclinación de alabe valor comprendido entre 5 a 20 grados

1.6.9 Potencia con la que el chorro impactada en el álabe

Según el desarrollo del triángulo de velocidades explicado por Mataix, la fuerza hidráulica contra un alabe o fuerza que ejerce el chorro de agua contra un álabe, se define por la siguiente Ecuación [23].

$$F_x = \rho \cdot Q \cdot (\tilde{V} - V_t) \cdot \cos\theta \quad (23)$$

Donde:

F_x = potencia que impacta el chorro al álabe (N)

ρ = densidad (kg/m^3)

Q = caudal del vertedero (m^3/s)

\tilde{V} = velocidad media del chorro

V_t = velocidad tangencial

θ = ángulo de salida del chorro

1.6.10 Potencia de la rueda hidráulica

La potencia transmitida por el agua a la rueda se calcula aplicando la conocida ecuación de la mecánica [23]:

$$P_r = F_x \cdot V_t \quad (24)$$

Donde:

P_r = Potencia rueda (W)

F_x = Fuerza ejercida en el alabe (N)

V_t = Velocidad tangencial (m/s)

1.6.11 Torque de rueda hidráulica

El torque y velocidad angular de la rueda se determina mediante las siguientes ecuaciones [23]:

$$T = \frac{P_r}{\omega} \quad (25)$$

También se conoce que la frecuencia angular es:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (26)$$

Donde:

T = Torque (N.m)

P_r = Potencia (W)

ω = velocidad angular de la rueda (rad/s)

f = frecuencia angular de la rueda (rev/s)

1.7 Bomba de pistón

Es una bomba de desplazamiento positivo, donde el fluido que se desplaza está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un aspa, etc., y la carcasa o el cilindro, se dividen en: bombas reciprocantes y rotatorias (engranajes, espas, levas, tornillos), para líquidos y gases [24].

1.7.1 Principio de funcionamiento

Según Zubicaray, dice que en el interior del cilindro ver Figura 12, un émbolo se desplaza con movimiento uniforme a velocidad (V), hay un fluido a presión (P), se supone que el cilindro como el émbolo es indeformable y el fluido es incomprensible, el movimiento del émbolo se debe a una fuerza aplicada (F) que desplaza fluido a través del orificio. Si el émbolo recorre un espacio (l) hacia el lado izquierdo, el volumen que ocupa el líquido se reduce con un valor igual a (ΔV), (A es igual al área transversal del émbolo [24]).

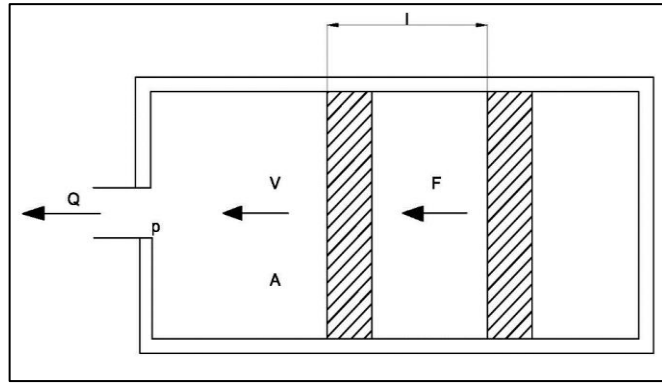


Figura 12. Cilindro de una bomba de desplazamiento positivo [24]

El fluido que sale por el orificio será (Al) y el tiempo (t) empleado el recorrer la distancia (l) es:

$$t = \frac{l}{V} \quad (27)$$

El gasto (Q), desplazado en unidad de tiempo, es [24]:

$$Q = \frac{A \cdot l}{t} = A \cdot V \quad (28)$$

Si no existe fricción, la potencia comunicada al fluido será [24]:

$$P = F \cdot V \quad (29)$$

Donde:

$F \cdot V$ = potencia mecánica (W)

Cómo:

$$F = p \cdot A \quad (30)$$

Se reemplaza la Ecuación 30 en 29:

$$P = F \cdot V = p \cdot A \cdot V = Q \cdot p \quad (31)$$

Donde:

$Q \cdot p$ = Potencia hidráulica (W)

La máquina puede funcionar como bomba o motor, y absorber potencia mecánica, y restituir potencia hidráulica [17].

El desplazamiento positivo del elemento que origina el intercambio de energía no necesariamente tiene el movimiento alternativo (émbolo), puede tener movimiento rotatorio (rotor). Siempre va a existir una cámara que aumenta volumen succión y disminuye volumen de impulsión.

1.7.2 Aplicación

Las bombas de desplazamiento positivo o alternativas tienen mayor eficiencia y mayor altura de aspiración para grandes presiones y pequeños caudales. En la Figura 13, indica el campo de aplicación de los diferentes tipos de bombas.

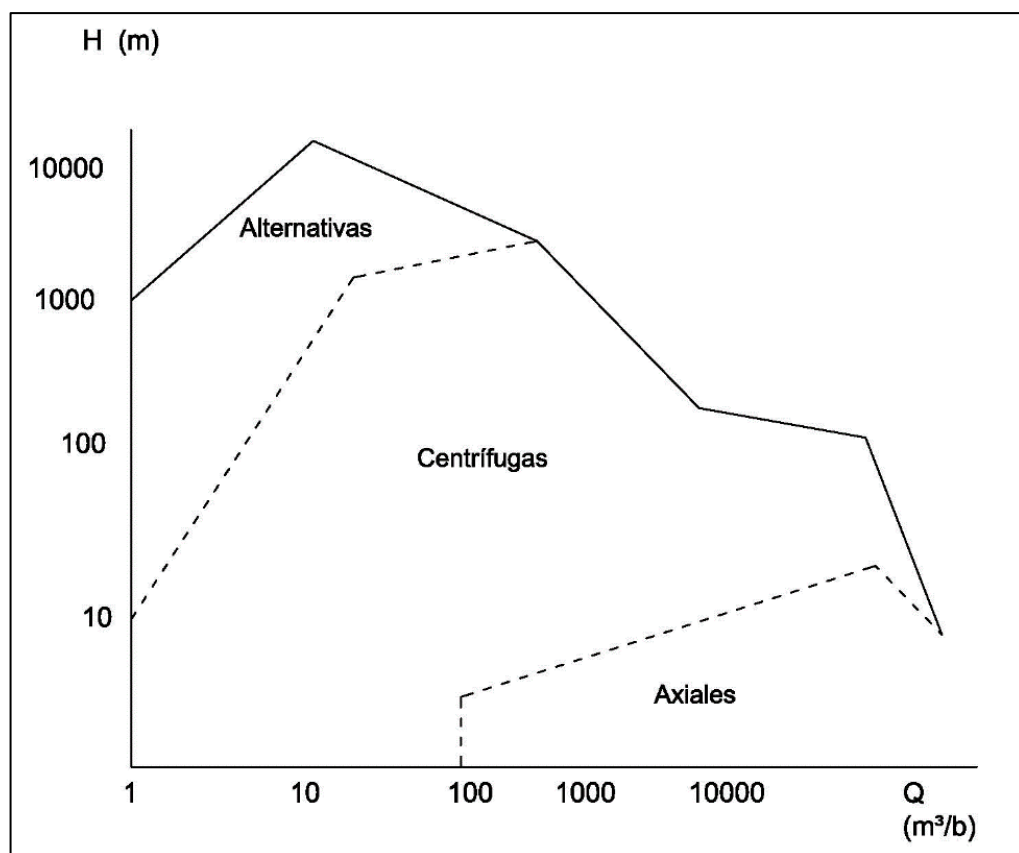


Figura 13. Campo de aplicación de bombas [24]

1.7.3 Bomba de émbolo

En la Figura 14, se tiene una bomba de émbolo, provisto de válvulas de succión y descarga. El émbolo al moverse a la derecha crea un vacío en la cámara, la presión atmosférica, empuja el líquido por la tubería de succión al interior de la cámara. Al regresar el émbolo a la izquierda se cierra la válvula de succión, se abre la de descarga dando el desplazamiento del líquido por la tubería de impulsión.

A cada revolución corresponde dos carreras (ida y vuelta) del émbolo, pero solo en una se realiza el bombeo del líquido [17].

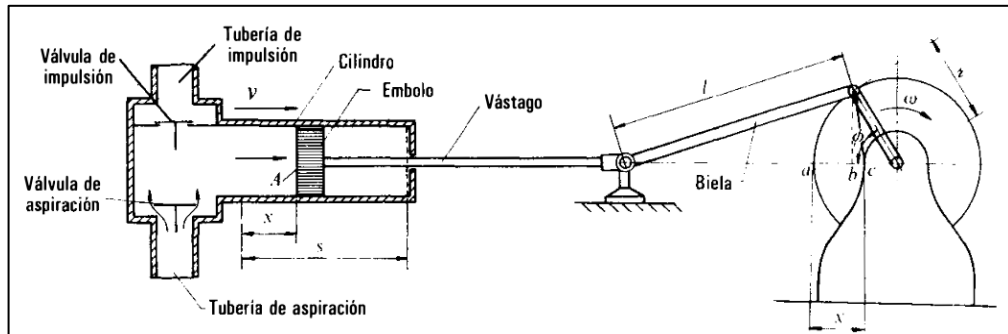


Figura 14. Bomba de émbolo simple efecto [17]

1.7.3.1 Caudal teórico de la bomba de émbolo

$$Q_{tb} = \frac{A \cdot n \cdot s}{60} \quad (32)$$

Donde:

Q_{tb} = caudal teórico de la bomba, (m^3/s)

A_e = área transversal del embolo, (m^2)

s = carrera, (m)

$A_s = D$ = desplazamiento o volumen desplazado en una revolución (m^3)

n = Velocidad del cigüeñal (rev/min)

1.7.3.2 Caudal real de la bomba de émbolo

Para el gasto real de la bomba se tiene [17]:

$$Q_{real} = Q_{tb} \cdot \eta_v \quad (33)$$

η_v Oscila entre 0.85 a 0.99, es mayor en las bombas cuyo émbolo es de mayor diámetro y es tanto menor cuanto menor es la viscosidad del fluido.

1.7.4 Bomba de émbolo de doble efecto

Son bombas de dos cilindros ver Figura15, tienen la ventaja de aumentar el caudal total de la bomba [17].

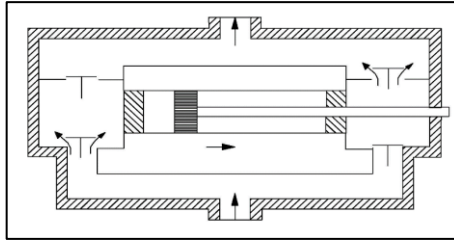


Figura 15. Bomba de émbolo de doble efecto [17]

1.7.4.1 Potencia útil de la bomba de émbolo

$$P_b = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (34)$$

La potencia medida en (W), el rendimiento total (η_t) en las bombas de émbolo oscila de 0.70 a 0.92 según el tamaño, tipo y calidad de construcción [17].

1.7.4.2 Caudal útil de bomba dúplex (1 cilindro doble efecto)

$$Q_{ub} = \eta_t \frac{(2A - a) \cdot s \cdot n}{60} \quad (35)$$

Donde:

A = área del émbolo, (m^2)

a = área del vástago, (m^2)

s = carrera, (m)

n = número de revolución de la rueda (RPM)

1.7.5 Altura de bombeo

Es la sumatoria total medida en metros: de la altura física geodésica, pérdidas por fricción en la tubería y las pérdidas menores y mayores en el sistema de bombeo [25].

$$H_{TOTAL} = H_{física} + H_{pérdidas} + H_{pérdidas menores} \quad (36)$$

1.7.6 Ecuación de la energía

Esta es la extensión de la ecuación de Bernoulli [18].

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_b = h_L + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (37)$$

Donde:

h_b = Energía añadida (bomba) (W)

$Z_1; Z_2$ = alturas geodésicas (m)

$\frac{P_1}{\gamma}; \frac{P_2}{\gamma}$ = alturas de presión (m)

$\frac{v_1^2}{2g}; \frac{v_2^2}{2g}$ = alturas de velocidad (m)

h_L = suma de todas las pérdidas

1.7.7 Cálculo pérdidas menores

Pérdida de energía por fricción en llaves y accesorios de instalación por lo general es pequeña en comparación con las pérdidas en las tuberías [18].

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (38)$$

Donde:

K = coeficiente de resistencia en tablas

v = velocidad promedio del flujo (m/s)

g = gravedad (m/s^2)

1.7.8 Numero de Reynolds

Para el cálculo del número de Reynolds se utiliza la siguiente Ecuación [18].

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{v_{pt} \cdot D_i}{\gamma} \quad (39)$$

Donde:

N_R = número de Reynolds (adimensional)

v = velocidad promedio del flujo en (m/s)

D_i = diámetro interno de la tubería medida en (m)

γ = viscosidad cinética en (m^2/s)

μ = viscosidad dinámica en ($N.s/m^2$)

El número de Reynolds es el que determina si un flujo es laminar o turbulento en el interior de la tubería del fluido, para el cual debe considerar lo siguiente [18].

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar.

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

Si $2000 < N_R < 4000$, el flujo está en región crítica

Tabla 7
Propiedades de agua [18]

Temperatura	Peso específico [KN/m ³]	Densidad [Kg/m ³]	Viscosidad Dinámica [Pa.s]	Viscosidad cinemática [m ² /s]
10	9.81	1000	1.30x10 ⁻³	1.30x10 ⁻⁶
15	9.81	1000	1.15x10 ⁻³	1.15x10 ⁻⁶
20	9.79	998	1.02x10 ⁻³	1.02x10 ⁻⁶
25	9.78	997	8.91x10 ⁻⁴	8.91x10 ⁻⁷
30	9.77	996	8.00x10 ⁻⁴	8.00x10 ⁻⁷

1.7.9 Cálculo pérdidas mayores

Otro factor de pérdida de energía es la fricción del fluido que circula, para el caso del flujo es proporcional a la carga de velocidad, longitud y del diámetro de la tubería. Esto se expresa con la ecuación de Darcy [18].

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (40)$$

Esta ecuación se utiliza en secciones rectilíneas largas y con tubería redonda.

Donde:

f = Factor de fricción (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

v = velocidad promedio del flujo (m/s)

1.7.10 Factor de fricción para flujo laminar

Para el cálculo se utiliza [18].

$$f_t = \frac{64}{N_R} \quad (41)$$

1.7.11 Factor de fricción para flujo turbulento

Para el cálculo del coeficiente de fricción se utiliza la siguiente Ecuación 42 [18].

$$f_t = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3.7 (D/E)} + \frac{5.74}{N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (42)$$

También se puede encontrar con el diagrama de Moody, se determina la rugosidad relativa y el número de Reynolds con estos datos buscar la intersección en el diagrama para determinar el factor de fricción.

1.7.12 Rugosidad relativa

$$\frac{D}{E} \quad (43)$$

Donde:

E = Rugosidad del material (m)

D = diámetro de la tubería (m)

1.7.13 Presión en la bomba

La bomba debe vencer la resistencia en la succión y descarga, se obtiene al utilizar [18].

$$P_{\text{bomba}} = \rho \cdot g \cdot (Z_1 - Z_2) \quad (44)$$

Donde:

P_{bomba} = presión de la bomba (psi) o (lb/pl²)

ρ = densidad del agua (kg/m³)

g = gravedad (m/s²)

Z_1 = punto referencia punto 1 (m)

Z_2 = punto referencia punto 2 (m)

1.7.14 Selección de la bomba por medio de la curva característica

Paso 1: Parámetros necesarios

Los parámetros que se necesitan son:

Caudal

Altura de bombeo (metro de columna de agua M.C.A)

Longitud de tubería de descarga

Paso 2: Diámetro tubería descarga

Para el cálculo de diámetro se considera: caudal requerido, longitud de tubería en la descarga, porcentaje de pérdidas

Para las pérdidas de cargas se tiene que realizar con el caudal mínimo y la tubería mínima de las bombas ZM según catálogos.

Paso 3: Pérdida de altura por fricción en la tuberías (h_{ft})

$$h_{ft} = \frac{L_t \cdot x}{100} \quad (45)$$

Donde:

L_t = Longitud de la tubería en (m) [26].

x = coeficiente por perdida de altura por fricción en la tubería ver Tabla 8.

Tabla 8											
Pérdida de altura por fricción en la tubería [26]											
Caudal m ³ /h	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
Diámetro tubería	3/4"	2	7,5	16	27	35	58	80	100	-	-
	1"	0,7	2,7	6	10	16	21,5	26	37	45	55
	1 1/4"	0,2	0,75	1,6	2,7	4,5	6	8	10	12	15,5
	1 1/2"	-	0,22	0,5	0,8	1,4	1,8	2,4	3	3,7	4,7
	2"	-	0,08	0,17	0,28	0,4	0,6	0,8	1,05	1,3	1,6
	2 1/2"	-	-	-	0,07	0,12	0,16	0,22	0,27	0,32	0,42
	3"	-	-	-	-	-	0,05	0,08	0,1	0,12	0,15

$$H_{TP} = H_T + h_{ft} \quad (46)$$

Donde:

H_{TP} = Altura total por pérdidas (m)

H_T = Pérdidas totales por fricción (m)

h_{ft} = Pérdida de carga por fricción (m)

Paso 4: Selección modelo de bomba

Para seleccionar el modelo de bomba, se lo realiza por medio de las curvas características, y se requiere los siguientes parámetros.

- Caudal requerido (lt/día)
- Altura de bombeo con caída de presión (MCA)

La velocidad y la potencia de la bomba se determinan por la intersección de dos líneas rectas (x, y), como se muestra en el Figura 16.

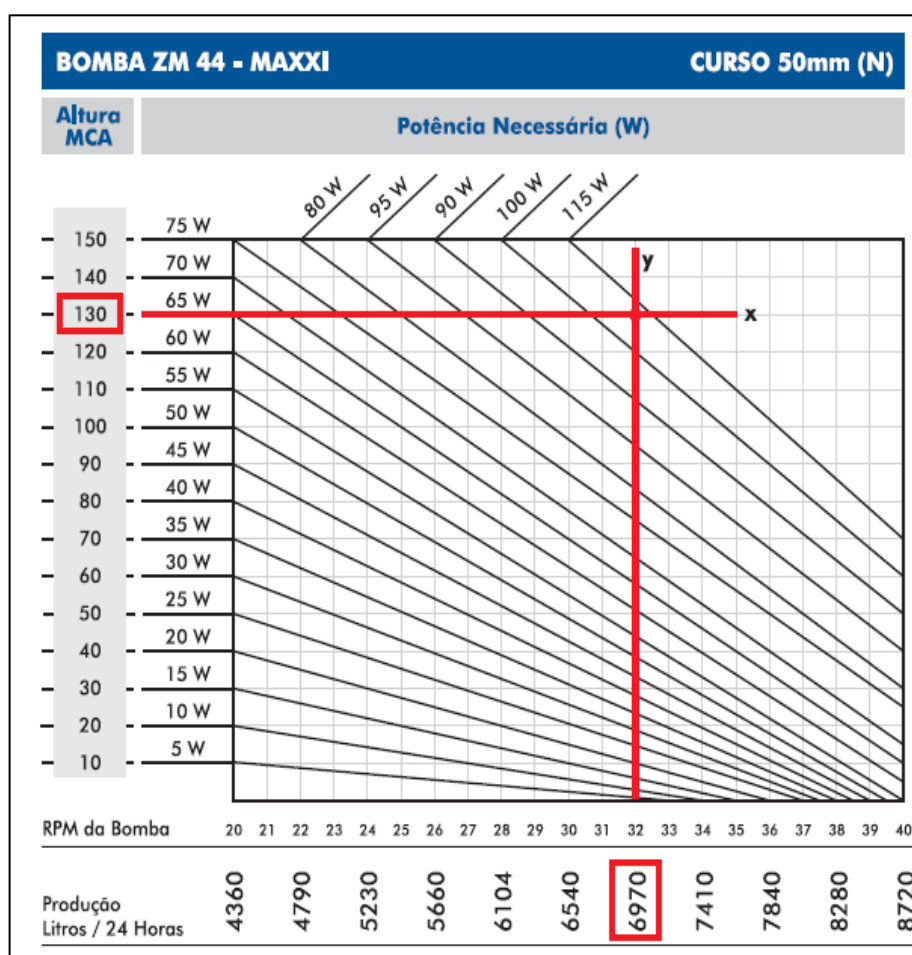


Figura 16. Curva característica bomba ZM 44-Maxxi [27]

Paso 5: Selección de la rueda

El modelo se determina por la potencia requerida de la bomba, que a su vez dependerá del flujo de agua disponible en la rueda de la bomba. Si la disponibilidad de agua es menor a la requerida se utilizará otra rueda.

1.7.15 Rendimiento de la bomba

El rendimiento se expresa como una relación adimensional. Varía con la velocidad y el caudal [28].

$$e = \frac{P_b}{P_r} \quad (47)$$

Donde:

e = rendimiento de la bomba (adimensional)

P_b = Potencia bomba (W)

P_r = Potencia rueda hidráulica (W)

1.8 Tubería

Es un conducto que cumple la función de transportar agua de un lugar a otro. Se suele elaborar con materiales diversos, para el diseño se utiliza el tubería plástica (PVC) [18].

1.8.1 Tubería plástica (PVC)

Su ventaja principal es su peso ligero, facilidad de instalación, resistencia a la corrosión y a los productos químicos, pueden ser compuestos por polietileno (PE), polietileno trenzado (PEX), poliamida (PA), cloruro de polivinilo (PVC) [18].

1.8.2 Tubería de PVC cédula 40

Se fabrican en diámetros de ½" hasta 16" y se suministra con un extremo la longitud suministrada es de 6 m, cuenta además con la aprobación NSF 61 (National Sanitation Foundation) para su aplicación en agua potable [29].

Tabla 9
Características tubería PVC cédula 40 [18]

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior Promedio		Diámetro Interior Promedio		Espesor mínimo de pared		Presión de trabajo a 23°C		Peso Aproximado	
(Pulg)	(Pulg)	(mm)	(Pulg)	(mm)	(Pulg)	(mm)	(PSI)	(kg/cm ²)	(Lbs/pie)	(kg/m)
3/4"	1.050	26.7	0.810	26.2	0.113	2.9	480	33.7	0.210	0.31
1"	1.315	33.4	1.033	34.6	0.133	3.4	450	31.6	0.310	0.46
1 1/4"	1.660	42.2	1.363	40.5	0.140	3.6	370	26.0	0.420	0.62

1.8.3 Tamaños nominales de tuberías galvanizadas

La International Standards Organization (ISO) estableció el siguiente conjunto de equivalencias como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10
Equivalencia de medidas de tubería [18]

Tamaño estándar tradicional (pulg)	Tamaño métrico DN (mm)	Tamaño estándar tradicional (pulg)	Tamaño métrico DN (mm)
½	15	8	200
¾	20	10	250
1	25	12	300
2	50	14	350
3	80	16	400
4	100	18	450
6	150	20	500

De acuerdo a la relación de Dimensión Estándar (SDR), las tuberías plásticas se utilizan de acuerdo a un régimen de presión como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11
Régimen de presión tubería plástica [18]

SDR	RÉGIMEN DE PRESIÓN
26	50 psi (345 kpa)
21	62 psi (427 kpa)
17	80 psi (552 kpa)
13.5	100 psi (690 kpa)

Las tuberías acero galvanizado cédula 40 se utilizan de acuerdo a un régimen de presión como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12
Régimen de presión tubería galvanizada [30]

Diámetro Nominal	RÉGIMEN DE PRESIÓN
½"	700 psi (50 bar)
¾"	700 psi (50 bar)
1"	700 psi (50 bar)
1 ¼"	1200 psi (85 bar)

En la Tabla 13 se tiene el valor de la rugosidad de la pared para tuberías existentes.

Tabla 13
Rugosidad tuberías [31]

MATERIAL	RUGOSIDAD ϵ (m)	RUGOSIDAD ϵ (pie)
PVC	1.5×10^{-3}	4.9×10^{-6}
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

1.8.4 Tubería de PVC NOVAFORT

Tubería corrugada, para alcantarillado sanitario, pluvial y combinado. Mayor capacidad de conducción hidráulica, con vida útil de 50 años. En la Tabla 14 se tiene las especificaciones técnicas [32].

Tabla 14
Especificaciones técnicas tubería PVC Novafort [32]

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Longitud útil (m)	Rigidez anular kN/m²	Rigidez del tubo kN/m²
175	160	6	4	199
220	200	6	4	199
280	250	6	4	199

1.9 Accesorios

Se considera: codos, llaves, té, medidores, y otros elementos de control que intervienen en la conexión para el funcionamiento de todo el sistema de bombeo, son pequeñas en comparación con la pérdida de tuberías. Por esta razón, aquellas reciben el nombre de pérdidas menores [18].

1.9.1 Válvulas

En la Tabla 15, dispone de muchas clases de válvulas y llaves, se emplean para controlar la cantidad de fluido; pueden ser de globo, ángulo, compuerta, mariposa, cualquiera tipo de válvulas de verificación [18].

Tabla 15
Valor de k para válvulas [18]

Descripción	Factor (Le/D)
Llave de globo - completamente abierta	340
Llave de ángulo - completamente abierta	150
Llave compuerta - completamente abierta	8
Válvula de pie	420
Válvula de retención o check	400

1.9.2 Codos y té

Estos accesorios dirigen la trayectoria del flujo o hacen que cambie su dirección. En la Tabla 16 se describe el factor (Le/D) de codos de varias formas y de té, que se disponen en el mercado [18].

Tabla 16
Valor de k para Codos y té [18]

Descripción	Factor (Le/D)
Codo 90°	30
Codo 45°	16
Codo roscado a 90°	50
Codo roscado a 45°	26
Vuelta en retorno	50
T paso directo	20
T paso por ramal	60

1.9.3 Cálculo de coeficiente K

Para determinar el coeficiente de resistencia K se debe utilizar:

$$K=(Le/D) f \quad (48)$$

Donde:

Le/D: es la longitud de una tubería del mismo diámetro nominal que el de la válvula.

D = diámetro interior de la tubería (m)

f = factor de fricción de la tubería

Los valores para f varían según el tamaño de la tubería y la válvula, lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia k también varíe.

La Tabla 17 presenta una lista de los valores de f para tamaños estándar de tubería comercial, nueva y limpia [18].

Tabla 17
Dimensiones y Valor factor fricción de tubería [18]

Tamaño nominal de tubería en plg	Diámetro exterior		Diámetro interior		Factor de fricción f
	plg	mm	plg	mm	
½	0.840	21.3	0.622	15.8	0.027
¾	1.050	26.7	0.824	20.9	0.025
1	1.315	33.4	1.049	26.6	0.023
1 1/4	1.660	42.2	1.380	35.1	0.022
1 1/2	1.900	48.3	1.610	40.9	0.021
2	2.375	60.3	2.067	52.5	0.019
3	3.5	88.9	3.06	77.9	0.018
4	4.5	114.3	4.03	102.3	0.017
5	5.56	141.3	5.04	128.2	0.016

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

El presente capítulo tiene como propósito cálculo y selección de una rueda hidráulica que accione una bomba de pistón para bombear agua a 190 m de altura. El capítulo II, describe los cálculos para encontrar la velocidad de agua de río, la velocidad de vertedero, caudal de vertedero, y caudal de agua en la vertiente. Con los cálculos anteriores se obtiene las dimensiones de la rueda hidráulica con su respectiva potencia, RPM, número de álabes. Para la selección de la bomba de pistón se calcula pérdidas mayores, menores, pérdidas en los accesorios, y la cabeza de bombeo. Con las RPM de la bomba, la cabeza total de bombeo, se obtiene curva de bomba, se comprueba si bomba a seleccionar es la necesaria para la implementación sistema de bombeo.

2. Rueda-hidráulica

Para realizar los cálculos y selección de la rueda hidráulica más eficiente para el diseño del sistema determinar los datos disponibles en el lugar de estudio ver Tabla 18.

Tabla 18
Datos disponibles

DATOS PREESTABLECIDO DE DISEÑO	Datos	Unidad
Velocidad corriente agua en el río (V)	0,17	m/s
Caudal del río (Qr)	102,56	lt/s
Diámetro de la rueda (D)	1,8	m
Ancho rueda-hidraulica (c)	0,25	m
Altura de agua a chocar en rueda (b)	0,2	m
Densidad agua a 15 °C (ρ)	1000	kg/m ³
Diámetro tubería de conducción (dt)	1	plg
Diámetro interno tubería conducción	26,6	mm
Viscosidad dinámica del agua a 15 °C (μ)	0,00115	N.s/m ²
Viscosidad cinemática del agua a 15 °C (ν)	0,00000115	m ² /s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Rendimiento bomba desplazamiento positivo	0,85	
Eficiencia rueda admisión superior	0,65	

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Considerar datos de Tabla 19, se calcula y selecciona la rueda-hidráulica y bomba de pistón.

Tabla 19
Requerimientos del proyecto

NECESIDADES A CUBRIRSE	Datos	Unidad
Volumen diario de agua (Q)	7000	lt/día
Altura impulsión (Hi)	183	m
Altura succión (Hs)	2	m
Longitud tubería impulsión (Li)	700	m

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

2.1 Caudal de ingreso de la vertiente

Para determinar el caudal de ingreso ver Figura 17, se tomó cinco muestras en el mismo sitio con tiempos diferentes ver Tabla 20.

Tabla 20
Datos obtenidos

Muestras	Volumen en (lt)	Tiempo en (s)
1	20	4,41
2	20	4,39
3	20	4,20
4	20	4,51
5	20	4,60
Promedio	20	4,42

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Se aplica la Ecuación 1 para obtener el caudal que ingresa de la vertiente de agua.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{20}{4,42}$$

$$Q = 4.52 \text{ lt/s} \Rightarrow 16.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

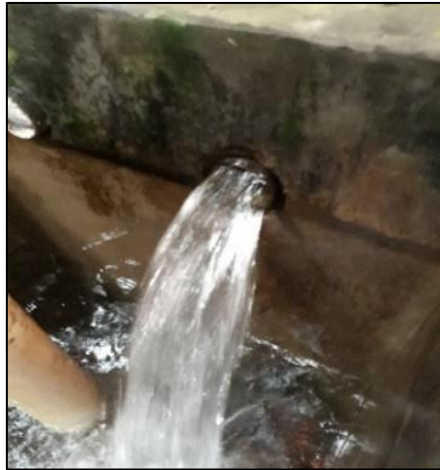


Figura 17. Caudal de la vertiente. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

2.1.1 Caudal disponible del río

En la Figura 18 se muestra una parte del río Chami en invierno.

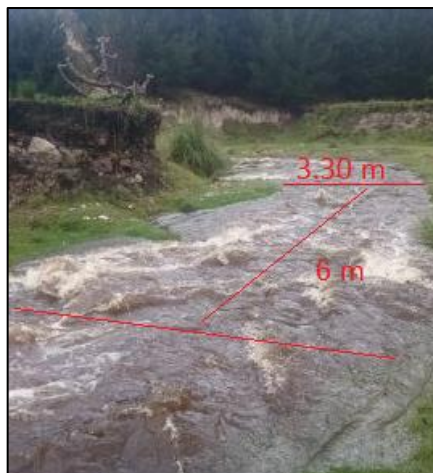


Figura 18. Tramo río Chami con lluvia. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

En la Tabla 21 se muestra datos obtenidos en tiempos de lluvia, se aplica la Ecuación 2 para encontrar el caudal del río.

Tabla 21
Datos obtenidos en invierno

Nro. de pruebas	Longitud tramo (m)	Tiempo (s)	Altura promedio río (m)
1	6	2,70	0,35
2	6	3,59	0,50
3	6	2,87	0,70
4	6	2,24	0,80
5	6	2,48	0,50
TOTAL	6	2,78	0,57

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Se calcula el área del río con la altura promedio de 0.57 m.

Área de la sección transversal con la Ecuación 3 del río es:

$$A = \text{ancho río} \cdot \text{altura promedio}$$

$$A = 3.30 \cdot 0.57 \Rightarrow A = 1.88 \text{ m}^2$$

$$v_r = (\text{longitud tramo río}) / (\text{tiempo promedio})$$

$$v_r = \frac{6}{2.78} = 2.16 \text{ m/s}$$

$$Q_r = 0.8 \cdot V \cdot A$$

$$Q_r = (0.8 \cdot 2.16 \cdot 1.88) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_r = 3.25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow 3252.45 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

El caudal de 3252,45 lt/s es el resultado cuando cae lluvia en el río.

Se debe calcular un caudal cuando no es época de lluvia, se observa en la Figura 19 al río Chami en la época sin lluvia (verano extremo):



Figura 19. Tramo río Chami sin lluvia. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

En la Tabla 22 se muestra datos obtenidos inicio verano.

Tabla 22
Datos obtenidos en verano

Nro. de Pruebas	Longitud Tramo (m)	Tiempo (s)	Altura promedio río (m)
1	9	44,5	0,18
2	9	60,0	0,25
3	9	47,5	0,30
4	9	40,5	0,27
5	9	65,5	0,23
TOTAL	9	51,60	0,25

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Se calcula el área del río con altura promedio de 0.49 m para la época de verano.

$$A = 3 \cdot 0.25 = 0,74 \text{ m}^2$$

$$v_r = (\text{longitud tramo río}) / (\text{tiempo promedio})$$

$$v_r = \frac{9\text{m}}{51.60 \text{ s}} = 0.17 \text{ m/s}$$

$$Q_r = 0.8 \cdot V \cdot A$$

$$Q_r = (0.8 \cdot 0.17 \cdot 0.74) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_r = 0.10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow 102.56 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

El caudal mínimo requerido para girar la rueda hidráulica es de 12 lt/s, el río en verano con sequía extrema dispone 102.56 lt/s de flujo promedio, considerar para diseño una parte del caudal captado, por tanto la eficiencia depende del lugar específico y la altura del tanque, para trasladar a la rueda hidráulica que acciona una bomba de pistón.

2.1.2 Velocidad del agua a la salida vertedero

Se calcula aplicando la ecuación de velocidad de Torricelli Ecuación 7 y reemplazando los datos el valor de $H = 1.60 \text{ m}$, altura desde la captación en el río hasta el centro del orificio del vertedero.

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1.60}$$

$$V = 5.60 \text{ m/s}$$

2.1.3 Velocidad media del fluido en la tubería

Reemplazando los datos en la Ecuación 8 y multiplicado por el factor K_f , se tiene.

$$\tilde{V} = K_f \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$\tilde{V} = 4.48 \text{ m/s}$$

2.1.4 Caudal teórico

El caudal teórico que sale desde el vertedero depende del diámetro del tubo conductor del fluido hasta la rueda hidráulica para este caso considerar un diámetro interno de 101.5 mm para encontrar este valor aplicar la Ecuación 9.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot (0.1015)^2}{4}$$

$$A = 0.00809 \text{ m}^2$$

$$Q_t = 0.00809 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1.60}$$

$$Q_t = 0.045 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow Q_t = 45.33 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

Para determinar el caudal práctico utilizar la Ecuación 10:

$$Q_p = m \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$Q_p = 0.82 \cdot 0.00809 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1.60}$$

$$Q_p = 0.0372 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow Q_p = 37.17 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

2.1.5 Diámetro tubería perforada o desarenador

Se calcula diámetro tubo que se coloca en el tanque de captación para evitar que ingrese arena aplica la Ecuación 17.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.037}{3.1416 \cdot 0.8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (1.7 - 1.6)}}}$$
$$D = 0.203 \text{ m} \Rightarrow 203 \text{ mm} \Rightarrow 7.99''$$

Se utilizará 3 tramos de tubería PVC de 110 mm en el tanque desarenador, para que exista mayor caudal hacia el segundo tanque.

2.1.6 Velocidad tangencial rueda-hidráulica

Se utiliza Ecuación 11, donde K_u es la eficiencia igual a 0.50 para ruedas de admisión superior.

$$V_t = K_u \cdot \tilde{V}$$
$$V_t = 0.50 \cdot 4.48 \text{ m/s}$$
$$V_t = 2.24 \text{ m/s}$$

2.1.7 Velocidad angular de la rueda hidráulica

Como dato el diámetro de la rueda hidráulica que es 1.8 m, aplicar la Ecuación 12, para determinar los RPM que da la rueda.

$$\omega = \frac{V_t \cdot 60}{\pi \cdot D_r}$$
$$\omega = \frac{2.24 \cdot 60}{\pi \cdot 1.8}$$
$$\omega = 23.78 \text{ RPM}$$

La velocidad de 23.78 RPM se utiliza en los cálculos de la bomba de pistón.

2.1.8 Velocidad chorro salida de tobera

Valor del coeficiente K_{co} es 0.98 obtenido de la Tabla 6. Designar en la Ecuación 13 para determinar la velocidad:

$$V_o = K_{co} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$V_o = 0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1.60}$$

$$V_o = 5.49 \text{ m/s}$$

2.1.9 Diámetro del chorro

El diámetro del chorro se aplica la Ecuación 14 y se determina:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot V_o}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0372}{\pi \cdot 5.49}}$$

$$d = 0.09 \text{ m} \Rightarrow 90 \text{ mm} \Rightarrow 3.54"$$

2.1.10 Número álabes

Se utiliza Ecuación 18.

$$N = 15 + \frac{D}{2d}$$

$$N = 15 + \frac{1.8}{2(0.09)}$$

$$N = 25$$

Con 25 álabes se tiene un rango de acuerdo al catálogo, para que el sistema de bombeo funcione correctamente.

2.1.11 Dimensión de los alabes

La profundidad del alabe se aplica la Ecuación 19:

$$X = [0.8 \text{ a } 1] \cdot d$$

$$X = [1] \cdot 0.09$$

$$X = 0.09 \text{ m} \Rightarrow 9 \text{ cm}$$

La altura del alabe se define con la Ecuación 20:

$$B = [2.25 \text{ a } 2.8] \cdot d$$

$$B = [2.25] \cdot 0.09$$

$$B = 0.21 \text{ m} \Rightarrow 21 \text{ cm}$$

El ancho del alabe se calcula con la Ecuación 21:

$$C = [2.6 \text{ a } 3] \cdot d$$

$$C = [2.6] \cdot 0.09$$

$$C = 0.24 \text{ m} \Rightarrow 24 \text{ cm}$$

Las dimensiones obtenidas de los álabes, son medidas mínimas para el respectivo cálculo de la rueda.

2.1.12 Eficiencia de la rueda hidráulica

Reemplazar los coeficientes ya conocidos y asumiendo $\beta = 6^\circ$ en la Ecuación 22

$$\eta_r = 2 \cdot K_{co}^2 \cdot K_u (1 - K_u) \cdot (1 + K_f \cos \beta)$$

$$\eta_r = 2 \cdot (0.98)^2 \cdot 0.5(1 - 0.5) \cdot (1 + 0.8 \cos 6^\circ)$$

$$\eta_r = 0.85$$

El rango de eficiencia de una rueda hidráulica oscila de $0.60 < \eta < 0.90$, la eficiencia determinada del cálculo es 0.85 garantiza una eficiencia dentro del rango establecido.

2.1.13 Potencia relacionada a entrada del chorro con impacto en álabe

Aplicar la Ecuación 23, con coseno de 180 para aprovechar energía de agua en los álabes:

$$F_x = \rho \cdot Q \cdot (\tilde{V} - V_t) \cdot \cos \theta$$

$$F_x = 1000 \cdot 0.0372 \cdot (4.48 - 2.24) - \cos 180$$

$$F_x = 83.91 \text{ N}$$

2.1.14 Potencia rueda-hidráulica

Con la Ecuación 24, se obtiene:

$$P_r = F_x \cdot V_t$$

$$P_r = 83.91 \cdot 2.24$$

$$P_r = 188.06 \text{ W}$$

La potencia de 188.06 W es potencia mínima de la rueda ZM. Según catálogo de acuerdo a la Figura 20, el rango de la potencia útil es 117 – 294 W, por tal motivo esta potencia se encuentra en el rango óptimo.

2.1.15 Torque de rueda hidráulica

El torque y velocidad angular de la rueda se determina aplicando la Ecuación 21:

$$T = \frac{P_r}{\omega}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$T = \frac{188.06}{2 \cdot \pi \cdot 0.40}$$

$$T = 75.52 \text{ Nm}$$

2.1.16 Selección rueda-hidráulica

En selección de rueda-hidráulica para bomba ZM 51 Maxxi, se utiliza los siguientes datos para seleccionar en la Figura 20 [27].

Datos:

Potencia rueda hidráulica $P = 188.06 \text{ W}$

Ancho rueda $C = 25 \text{ cm}$

DIÁMETRO DA RODA (M)						Largura da Roda (cm)
2,00	1,80	1,50	1,40	1,26	1,00	
POTÊNCIA ÚTIL (WATTS)						
755	686	583	549	500	412	35
728	662	563	529	483	397	
700	637	542	510	465	382	
674	613	521	490	447	368	
647	588	500	471	429	353	
620	564	480	451	411	338	
593	539	458	431	394	323	
566	515	435	412	376	309	
539	490	415	392	358	294	
512	466	396	372	340	279	
485	441	378	353	322	264	
458	417	361	333	304	250	
431	392	333	314	286	235	
404	368	312	294	268	220	
377	343	292	274	250	206	
350	318	272	255	234	191	25
323	294	250	235	214	176	
296	269	229	215	196	161	
270	245	208	196	179	147	
242	220	187	176	161	132	
215	196	166	157	143	117	
194	176	150	141	132	108	
172	157	133	127	117	95	
151	137	116	108	102	80	
129	117	100	97	87	72	18
107	98	83	78	71	58	
97	88	75	70	66	54	
86	78	66	63	59	47	
75	68	58	54	50	40	
64	58	50	48	43	36	
54	49	41	39	35	29	
43	39	33	31	28	24	
32	29	25	24	21	18	
21	19	16	15	14	12	
10	9,5	8	7,5	7	6	

Figura 20. Curva característica bomba ZM Maxxi [27]

La rueda que se utiliza para la bomba ZM maxxi es de diámetro 1.80 m

2.2 Altura de bombeo

Utilizar la Ecuación 36:

$$H_{TOTAL} = H_{física} + H_{pérdidas} + H_{pérdidas\ menores}$$

2.2.1 Altura física

La altura física se toma de los datos obtenido por la topografía del sector, en este diseño es de 183 m de altura desde la rueda hidráulica hasta el tanque de distribución de agua.

2.2.2 Velocidad promedio en la tubería

Caudal mínimo requerido para diseño:

$$Q = 7000 \frac{\text{lt}}{\text{día}} \Rightarrow (8.10 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 7000 \frac{\text{lt}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 8.10 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De la tabla 7, nombre comercial de tubería PVC célula 40 = 1”

$$D_i = 26.2 \text{ mm} = 0.0262 \text{ m}$$

Con la Ecuación 16, encontrar el área de flujo:

$$A_{ft} = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi (0.0262)^2}{4} = 0.000539 \text{ m}^2$$

De la Ecuación 1, se despeja la velocidad promedio en la tubería:

$$Q = v_{pt} \cdot A_{ft} \Rightarrow v_{pt} = \frac{Q}{A_{ft}} = \frac{(8.10 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.000539 \text{ m}^2} = 0.15 \text{ m/s}$$

La velocidad de succión y descarga de la bomba es la misma porque la tubería plástica de conducción del fluido es de 1”.

2.2.3 Número de Reynolds

Usar la Ecuación 39, se obtiene si el flujo en la tubería es laminar o flujo turbulento.

Se conoce la viscosidad cinemática del agua $\gamma = 1.15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{v_{pt} \cdot D_i}{\gamma}$$

$$N_R = \frac{0.15 \text{ m/s} \cdot 0.0262 \text{ m}}{(1.15 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2/\text{s}} = 3423.69$$

El número de Reynolds calculado esta entre $2000 < 3423.69 < 4000$, el flujo de la tubería está en el régimen de la región crítica, próximo a un flujo turbulento. Esta región no ocasiona dificultades [18].

2.2.4 Pérdidas menores en la succión de la bomba

Para obtener las pérdidas menores se aplica la Ecuación 40 y con la Ecuación 43 se encuentra la rugosidad relativa:

$$\frac{D}{E} = \frac{0.0262}{0.0015}$$

$$\frac{D}{E} = 17.467$$

Para el coeficiente de fricción se aplica la Ecuación 42, como flujo turbulento por estar en la zona crítica.

$$ft = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3.7(D/E)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$ft = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3.7(17.467)} + \frac{5.74}{3423.69^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$ft = 0.0849$$

Cálculo pérdidas en la succión se aplica Ecuación 38, en la succión se tiene los siguientes accesorios:

Una válvula de pie, de la Tabla 14 Le/D es 420 ft y el valor de $ft = 0.0849$ para tubería plástica de 1" de la Tabla 17 y Ecuación 48, determinar el valor de k para cada accesorio y multiplicar por la cantidad del mismo.

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = 420 \cdot 0.0849 = 35.66$$

Dos codos 90° donde, Le/D es 30 ft Tabla 16:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = 30 \cdot 0.0849 = 2.54 \cdot 2 = 5.09$$

Un codo 45° donde, Le/D es 16 ft Tabla 16:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = 16 \cdot 0.0849 = 1.35$$

$$h_{Lms} = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (35.66 + 5.09 + 1.35) \cdot \left(\frac{(0.15)^2}{2 \cdot 9.81} \right)$$

$$h_{Lms} = 0.048 \text{ m}$$

2.2.5 Pérdidas menores descarga

Con la Ecuación 38, se obtiene las pérdidas menores en la descarga, en la línea de descarga tenemos los siguientes accesorios:

Dos válvulas de globo, de la Tabla 15 Le/D es 340 ft y el valor de $ft = 0.0849$ para tubería plástica de 1"

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = (340 \cdot 0.0849) = 28.86 \cdot 2 = 57.73$$

Seis válvulas de retención o check, de la Tabla 15 Le/D es 400 ft:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = (400 \cdot 0.0849) = 33.96 \cdot 6 = 203.76$$

Siete T, de la Tabla 16 Le/D es 20 ft:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = (20 \cdot 0.0849) = 1.69 \cdot 7 = 11.88$$

Diez codos 90° de la Tabla 16 Le/D es 30 ft:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = (30 \cdot 0.0849) = 2.54 \cdot 10 = 25.4$$

Cinco codos de 45° de la Tabla 16 Le/D es 16 ft:

$$k = \frac{Le}{D} \cdot ft = (16 \cdot 0.0849) = 1.36 \cdot 5 = 6.79$$

$$h_{Lmd} = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (57.75 + 203.76 + 11.88 + 25.40 + 6.79) \cdot \left(\frac{(0.15)^2}{2 \cdot 9.81} \right)$$

$$h_{Lmd} = 0.35 \text{ m}$$

2.2.6 Pérdidas mayores succión

Para obtener las pérdidas mayores aplicar la Ecuación 40, y para el coeficiente de fricción se aplica la Ecuación 42, como flujo turbulento por estar en la zona crítica.

$$f_t = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3.7(D/E)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_t = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3.7(17.467)} + \frac{5.74}{3423.69^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_t = 0.0849$$

Con la Ecuación 43, encontrar la rugosidad relativa:

$$\frac{D}{E}$$

$$\frac{D}{E} = \frac{0.0262}{0.0015}$$

$$\frac{D}{E} = 17.467$$

Con los dos datos obtenidos reemplazar en la Ecuación 40, para encontrar las pérdidas mayores en la succión.

Considerar una longitud de recorrido en la succión: $L_s = 10$ m

$$h_{LMS} = (0.0849) \cdot \frac{10}{(0.0262)} \cdot \frac{(0.15)^2}{(2 \cdot 9.81)}$$

$$h_{LMS} = 0.037 \text{ m}$$

2.2.7 Pérdidas mayores descarga

Considerar una longitud de recorrido en la descarga: $L_d = 700$ m

$$h_{LMD} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{LMD} = (0.0849) \cdot \frac{700}{(0.0262)} \cdot \frac{(0.15)^2}{(2 \cdot 9.81)}$$

$$h_{LMD} = 2.65 \text{ m}$$

2.2.8 Pérdida de carga por fricción en tuberías

Utilizar en Tabla 6 y aplicar la Ecuación 45 para obtener:

$$h_{ft} = \frac{700 \cdot 0.70}{100} = 4.90 \text{ m}$$

2.2.9 Total de las pérdidas

Es la sumatoria de todas las pérdidas mayores, menores en la succión, descarga y tubería del sistema de bombeo de agua:

$$h_{LT} = h_{Lms} + h_{Lmd} + h_{LMS} + h_{LMD} + h_{ft}$$

$$h_{LT} = 0.048 + 0.35 + 0.037 + 2.61 + 4.90$$

$$h_{LT} = 7.94 \text{ m}$$

2.2.10 Altura para bombeo

Es suma de altura física más altura por pérdidas que existe en la tubería y accesorios como se indicó en la Ecuación 36:

$$H_T = 183 + 7.94$$

$$H_T = 190.94 \text{ m}$$

La altura total de bombeo es de 190.94 MCA se utiliza en curva de la bomba para obtener la potencia de bomba – rueda hidráulica.

2.3 Selección en curva de la bomba ZM Maxxi

Datos:

Velocidad angular Bomba $n_r = 23.78 \text{ RPM}$

Altura de Bombeo $H_{TOTAL} = 190.60 \text{ MCA}$

En la Figura 21, la curva característica de la Bomba ZM 51- Maxxi, seleccionar con la velocidad angular de la rueda y la altura de bombeo:

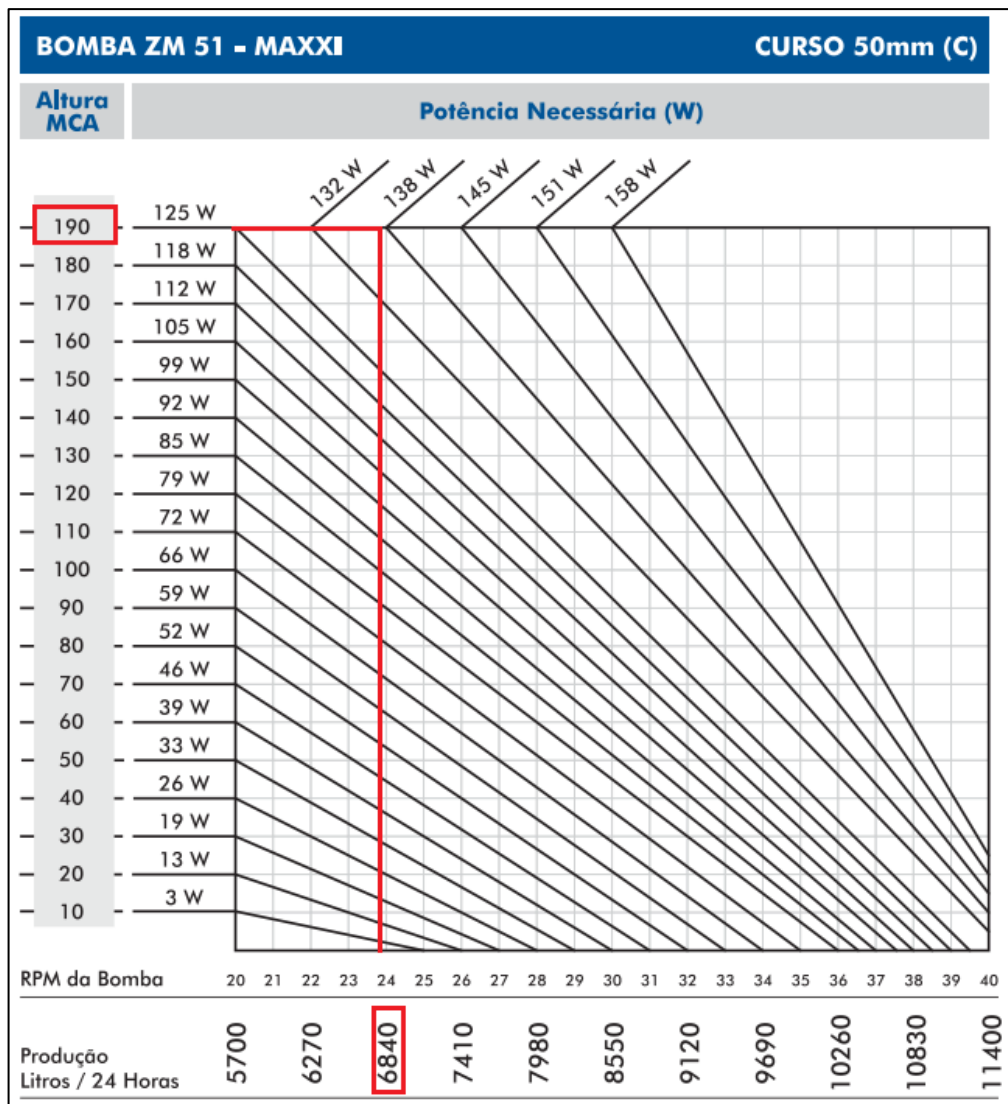


Figura 21. Curva característica bomba ZM Maxxi 51 [26]

2.3.1 Caudal útil de la bomba de pistón doble efecto

Se selecciona el tipo de bomba con rueda hidráulica que se utiliza, los datos se reemplaza en Ecuación 35.

Datos de la bomba de pistón ZM 51 Maxxi ver Figura 21:

$$A_e = (2.04 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$a = (8.04 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$$

$$s = 0.05 \text{ m}$$

$$Q = \eta_t \frac{(2A - a) \cdot s \cdot n}{60}$$

$$Q = 0.92 \cdot \frac{[(2 \cdot 0.00204) - 0.000804] \cdot 0.05 \cdot 23.78}{60}$$

$$Q = 5.98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 5.16 \text{ m}^3/\text{día}$$

2.3.2 Potencia útil de la bomba de pistón

Se utiliza la Ecuación 34 y reemplazar los valores establecidos:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_{Tp}$$

$$P = (5.98 \cdot 10^{-5}) \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 190.60$$

$$P = 111.86 \text{ W}$$

2.3.3 Rendimiento de la bomba

Para el respectivo cálculo se utiliza la Ecuación 47:

$$e = \frac{P_b}{P_r} = \frac{\text{Potencia de la bomba de pistón}}{\text{Potencia rueda hidráulica}}$$

$$e = \frac{138 \text{ W}}{188.06 \text{ W}} = 0.6912 \cdot 100$$

$$e \approx 69.12 \%$$

El rendimiento de la bomba es del 69.12 %.

2.3.4 Presión de la bomba

La presión se calcula con la Ecuación 44:

$$P_{\text{bomba}} = \rho \cdot g \cdot (Z_2 - Z_1)$$

$$P_{\text{bomba}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (190.60 - 0)\text{m}$$

$$P_{\text{bomba}} = 1869786 \text{ (Pa)}$$

$$P_{\text{bomba}} = 271.17 \text{ (psi)}$$

2.4 Selección de tubería bomba rueda hidráulica - tanque de captación

Tubería a instalar es de diámetro de 1 pulgada PVC, porque según la Tabla 9 la presión de trabajo es 450 PSI.

De acuerdo al cálculo la presión de trabajo en el sistema es de 260 PSI, por tal motivo la tubería seleccionada soporta la presión de trabajo.

2.5 Selección de tubería captación de río – tanque desarenador

La tubería a instalar entre la captación vertedero del río y el tanque desarenador es de diámetro de 220mm PVC NOVOFORT de acuerdo a la Tabla 14. Se utiliza esta tubería porque el diámetro del chorro mínimo requerido para la rueda hidráulica es de 100 mm, por tal motivo la tubería de 220mm es suficiente para la demanda del diámetro del chorro.

2.5.1 Dimensiones tanque desarenador

La dimensiones del tanque desarenador son: largo: 3 metros; ancho: 2 metro; y alto: 2 metros, con división en la mitad a lo largo del tanque.

En el tanque desarenador se instala 3 tuberías PVC de 1 metro de largo perforado (tubería desarenador).

El la Figura 22 se observa el tanque desarenador:



Figura 22. Tanque desarenador. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Conclusión:

Con la comparación de los cálculos realizados y curva respectiva de la bomba de la Figura 21 se obtiene:

Tabla 23
Resultados obtenidos

Descripción	Resultado
Velocidad angular Bomba	$nr = 24 \text{ RPM}$
Altura de Bombeo	$H_{TOTAL} = 190 \text{ m}$
Caudal	6840 lt/día
Potencia	138 W

Elaborado por: Franklin Guña y Edgar Quishpe

Con estos datos de la bomba ZM 51 Maxxi con un curso de 50 mm (C), se verifica que es la indicada para el sistema de bombeo, porque están dentro del margen de los cálculos realizados.

La rueda hidráulica ZM existente en el mercado que se utilizará tiene las siguientes características:

$$D_r = 1.80 \text{ m}$$

$$Z = 34$$

$$C = 25 \text{ cm}$$

$$X = 16 \text{ cm}$$

La rueda con estas dimensiones es la indicada para accionar la bomba de pistón de doble efecto, para satisfacer los requerimientos del diseño.

CAPÍTULO III

GENERALIDADES

En el capítulo III, se analiza costos directos y los indirectos que se necesita en la inversión, la ejecución y construcción del tanque de captación del proyecto para su respectivo funcionamiento y ante la situación planteada se puede comparar costo beneficio en el mantenimiento, consumo eléctrico y vida útil, con el sistema actual de bombeo, además se considera la simulación del comportamiento del fluido en la tubería de la descarga de la bomba, hasta el tanque receptor para la distribución del agua utilizando el software SOLIDWORKS 2017.

3. Análisis de costo

Los costos que se consideran para el diseño e implementación del sistema son:

3.1 Costo directo

Materiales que influyen de manera directa para cada uno en los procesos de producción de un bien o servicios, los elementos a tomar en cuenta son:

3.1.1 Material directo de producción

Elementos requeridos para desarrollar el proyecto, con la finalidad de construir el mismo, existen diferentes componentes: accesorios, abrazaderas, tuberías.

3.1.2 Costo de materia prima para la obra civil

Para la construcción del tanque con capacidad de 12 m³ de agua, tanque receptor de la rueda hidráulica, columnas base para tubo de conducción de agua de 220 mm corrugado y represa en el río de captación de agua se muestra en la Tabla 24 el detalle de los materiales.

Tabla 24
Materiales utilizados en el tanque de captación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Quintal de cemento	75	8,25	618,75
2	Metros cúbicos de arena	5,60	19,00	106,40
3	Metros cúbicos de ripio	8,40	20,00	168,00
4	Metros cúbicos de piedra	8,00	15,00	120,00
5	Malla electro soldada 10x10x8	3	38,30	114,90

6	Tablero para encofrado	60	5,50	330,00
7	Rieles	60	1,5	90,00
8	Alfajías de 6m x 5cm	20	1,00	20,00
9	Tabla de monte (20cm x 2cm x 4m)	20	2,59	51,80
10	Columna 9mm (10x15cm) 6.50 m	4	33,52	134,07
11	Malla para gavión de 2x1x1 metros	2	52,76	105,52
12	Malla para gavión de 1x1x1 metros	2	42,76	85,52
13	Libras de clavos 2 plg.	10	0,86	8,60
14	Libras de clavos 2 ½ plg.	10	0,86	8,60
15	Libras de alambre galvanizado # 14	30	1,50	45,00
16	Libras de alambre galvanizado # 12	30	1,30	45,00
17	Accesorios adicionales	1	50,00	50,00
TOTAL				2096,16

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.1.3 Costo de materiales utilizados para transportar agua a la rueda hidráulica

En la Tabla 25 se detalla los materiales y valores que se utiliza en el transporte de agua desde el vertedero del río hasta el tanque desarenador.

Tabla 25
Materiales utilizados en transporte a la rueda hidráulica

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Tubería corrugado alcantarillado de 220mm x 6m.	13	42.50	552.50
2	Tubo desagüe 75mm x 3m	4	6,50	26,00
3	Tubo desagüe 110mm x 3m	2	8,05	16,10
4	Tubo desagüe 160mm x 3m	1	19,57	19,57
5	Tapón hembra desagüe 110mm	3	3,50	10,50
6	Tapón hembra desagüe 160mm	1	3,75	3,75
7	Codo desagüe 75mm x 90°	6	1,57	9,42
8	Codo desagüe 160mm x 45°	1	6,00	6,00
9	Codo desagüe 220mm x 45°	2	23,47	47,14
10	Metros de cable de acero negro ½ plg.	25	1,79	44,75
11	Metros de cable de acero negro ¼ plg.	20	0,67	13,40
12	Grillete de ½ plg.	12	1,08	12,96
13	Grillete de 5/16 plg.	30	0,20	6,00
14	Templador M24	2	9,50	19,00
15	Accesorios varios	1	50,00	50,00
TOTAL				837,09

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.1.4 Costo de materiales utilizados en el sistema de bombeo

En la Tabla 26 se detalla materiales y valores que se utiliza en el sistema de bombeo desde la bomba ZM 51 Maxxi hasta el tanque de almacenamiento de agua.

Tabla 26
Materiales utilizados en el sistema de montaje bomba

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Bomba ZM 51 Maxxi	1	1324,80	1324,80
2	Rueda ZM de 1.80 x 0.25 metros	1	859,34	859,34
3	Tanque tipo botella 500 litros	1	125,00	125,00
4	Manómetro de 0-400 PSI con glicerina	1	20,00	20,00
5	Metros manguera de 1plg	15	2,50	37,50
6	Válvula de pie de 1 plg.	1	15,00	15,00
7	Válvula de aire de 1 plg.	2	12,62	25,24
8	Válvula check de resorte de 1 plg.	6	15,00	90,00
9	Llave de bola de 1 plg.	3	8,50	25,50
10	Llave de bola de 1/2 plg.	4	5,50	22,00
11	Tubo PVC cédula 40 de ½ plg.	1	6,50	6,50
12	Tubo PVC cédula 40 de 1 plg.	47	10,20	479,40
13	Tubo PVC cédula 40 de 33 mm.	53	10,20	540,60
14	Codo PVC pegable de 1plg x 90°	15	0,46	6,90
15	Codo PVC pegable de 1plg x 45°	6	0,68	4,08
16	Tee PVC pegable de 1plg	5	0,59	2,95
17	Universal PVC pegable de 1plg.	8	2,69	21,52
18	Adaptador macho PVC pegable de 1plg	20	0,42	8,40
19	Adaptador hembra PVC pegable de 1plg	4	0,37	1,48
20	Codo PVC pegable de 33mm x 90°	5	0,46	2,30
21	Codo PVC pegable de 33mm x 45°	5	0,68	3,40
22	Adaptador macho PVC pegable de 33mm	10	0,42	4,20
23	Tee PVC pegable de 33mm	5	0,59	2,95
24	Litro de Pega Weldon naranja	2	20,50	41,00
25	Accesorios varios	1	77,90	77,90
			TOTAL	3747,96

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.1.5 Costo mano de obra y montaje

En la Tabla 27 se detalla el costo mano de obra directa que se utiliza en el proyecto.

Tabla 27
Costo mano de obra directa

Personal	Especialidad	Tiempo utilizado (H)	Costo mano de obra (USD/H)	Costo Total (USD)
Ingeniero	Diseño	80	6,25	500,00
Ayudante	Mecánico	100	3,75	375,00
Maestro	Albañil	200	3,75	750,00
			TOTAL	1625,00

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.1.6 Costos indirectos

Se relacionan con un objeto del costo en particular pero no son fácilmente identificable en el producto o servicio ver Tabla 28.

Tabla 28
Costos Indirectos

ITEM	DETALLE	VALOR UNITARIO (USD)
1	Transporte	150,00
2	Topografía	60,00
3	Viáticos	50,00
TOTAL		260,00

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.1.7 Costo total del proyecto

En la Tabla 29 se detalla el costo total que se utiliza en el proyecto.

Tabla 29
Costo total proyecto

ITEM	DETALLE	VALOR UNITARIO (USD)
1	Costos de la materia prima para la obra civil.	2096,16
2	Costos de materiales transporte agua a la rueda.	837,09
3	Costos materiales sistema bomba pistón - rueda.	3747,96
4	Costo mano obra y montaje.	1625,00
5	Costos indirectos.	260,00
TOTAL		8566,21

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.2 Análisis de costo bomba sumergible vs bomba ZM 51 Maxxi

En la Tabla 30, se realiza una comparación del costo requerido para implementar sistema de bombeo para agua, el costo para sistema bomba pistón con rueda es mayor que una bomba eléctrica, considerando que vida útil de bomba por electricidad es 10 años y de 20 años para el sistema de bomba de pistón con rueda hidráulica.

Tabla 30
Comparación de costos sistemas de bombeo

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	COSTO DEL EQUIPO	COSTO DE IMPLEMENTACION	COSTOS OBRAS CIVILES	COSTO TOTAL (USD)
Bomba sumergible de 5 hp trifásico 220 voltios.	1654,46	1563,82	800,00	4018,28
Bomba de pistón con rueda hidráulica.	2184,14	2400,91	2096,16	6681,21

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

En la Tabla 31, se realiza una evaluación económica y financiera de los dos sistemas, se determina que el gasto anual por operación de una bomba de pistón con rueda hidráulica es mucho menor que el de una bomba eléctrica.

Tabla 31
Evaluación económica – financiera (USD)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	COSTO CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL	COSTO MANTENIMIENTO ANUAL	GASTO TOTAL (USD)
Bomba sumergible 5 hp trifásico 220 voltios.	1633,08	150,00	1783,08
Bomba de pistón con rueda hidráulica.	0,00	200,00	200,00

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Se tomó como referencia una bomba de 5 hp sumergible FRANKLIN ELECTRIC porque la curva de rendimiento es la más próxima a la de una bomba ZM 51 MAXXI, para su respectiva comparación.

Tabla 32
Gasto eléctrico

Descripción	Costo \$
Bomba en hp	5
Consumo en KWH	3,7285
Horas de trabajo	8
Costo por KWH en dólares	0,15
Gasto mensual consumo eléctrico	134,22
Gasto anual consumo eléctrico	1633,08

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Como se puede notar en la Tabla 32, el costo de consumo eléctrico es proporcional a la potencia de la bomba, en este caso el ahorro es de 1633.08 USD anuales, para la misma se realiza un análisis con VAN, TIR y PAY BACK para determinar el retorno de inversión del proyecto.

3.2.1 Retorno de inversión

El retorno de inversión se encuentra con el método del VAN, el método TIR, de acuerdo a los siguientes datos [33]:

Número de periodos = 9

Tipo periodo = anual

Tasa de descuento (i) = 11,83

La tasa de descuento 11,83 se obtiene de la tasa máxima de interés activa efectiva vigente en el sector financiero privado, público y solidario del Banco Central del Ecuador en segmento PYMES cuyo valor es 11,83% anual [34].

3.2.2 Fondo neto efectivo FNE

El FNE se divide en los siguientes periodos anuales como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33	
Fondo neto efectivo	
Nº	FNE
0	-8566,21
1	1633,08
2	1633,08
3	1633,08
4	1633,08
5	1633,08
6	1633,08
7	1633,08
8	1633,08
9	1633,08

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.2.3 VAN (Valor actual neto)

En la Tabla 34 se detalla el valor del VAN.

Tabla 34			
Cálculo VAN			
VALOR ACTUAL NETO			
#	FNE	(1+i) ^N	FNE/(1+i) ^N
0	-8566,21		-8566,21
1	1633,08	1,12	1460,32
2	1633,08	1,25	1305,84
3	1633,08	1,40	1167,70
4	1633,08	1,56	1044,18
5	1633,08	1,75	933,72
6	1633,08	1,96	834,94
7	1633,08	2,19	746,62
8	1633,08	2,45	667,64
9	1633,08	2,74	597,01
VAN			191,77

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.2.4 TIR (Tasa interna de retorno)

En la Tabla 35 se detalla valores para el cálculo del TIR.

Tabla 35
Cálculo TIR

Tasa interna de retorno (TIR)	
Tasa de descuento	VAN
0,00%	\$6.131,51
5,00%	\$3.041,43
10,00%	\$838,74
15,00%	\$-773,83
20,00%	\$-1.983,32
25,00%	\$-2.910,64
30,00%	\$-3.635,94
35,00%	\$-4.213,55
40,00%	\$-4.681,11
45,00%	\$-5.065,22
50,00%	\$-5.385,01
60,00%	\$-5.884,02
65,00%	\$-6.081,50
70,00%	\$-6.252,91

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Con los datos obtenidos en la Tabla 35 se procede a realizar una gráfica para obtener el TIR [33].

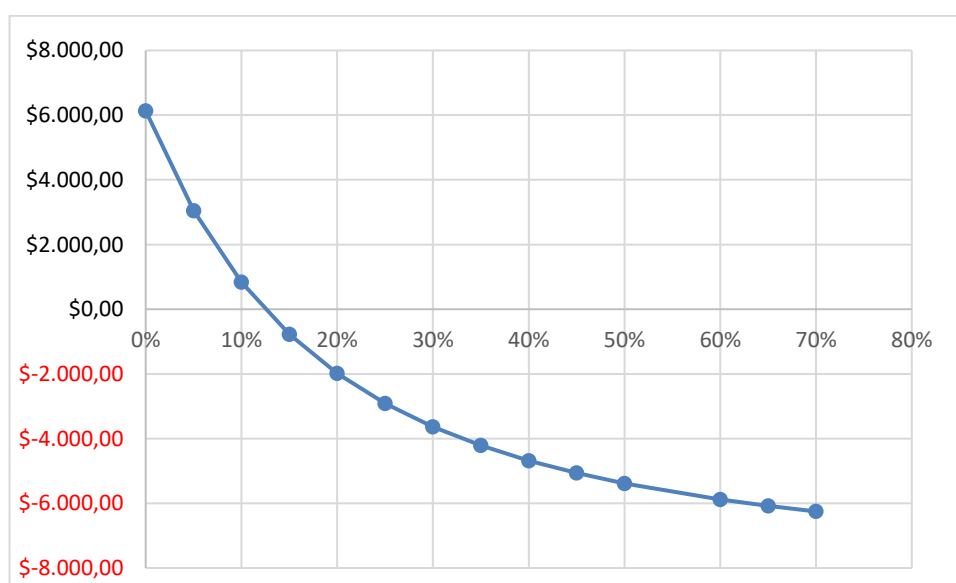


Figura 23. Gráfica para cálculo del TIR. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

De acuerdo a la Figura 23, se obtiene un porcentaje de TIR del 12% aproximadamente. Para un cálculo correcto se aplica fórmula en hoja de excel para encontrar el TIR, dando como resultado 12,41 % = TIR.

Criterio de decisión [35].

Si $VAN \geq 0$ entonces se acepta el proyecto [35]

Si $VAN < 0$ entonces no se acepta el proyecto [35]

De acuerdo al cálculo $VAN = 191,77 \geq 0$ entonces el proyecto es aceptado.

3.2.5 PAY BACK actualizado

El Payback es el plazo que se debe esperar para que el valor de la inversión inicial sea recuperado [36].

La Tabla 36 sirve para encontrar el tiempo de recuperación de la inversión.

Tabla 36		
Tiempo de recuperación de la inversión		
Nº	FNE	Periodo recuperación descontado
0	-8566,21	-8566,21
1	1633,08	-6933,13
2	1633,08	-5300,05
3	1633,08	-3666,97
4	1633,08	-2033,89
5	1633,08	-400,81
6	1633,08	1232,27
7	1633,08	2865,35
8	1633,08	4498,43
9	1633,08	6131,51

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

$$\text{Payback} = \text{año último acumulado negativo} + \frac{\text{último flujo acumulado negativo}}{\text{flujo no acumulado año siguiente}}$$

$$\text{Payback} = 5 + 400,81 / 1633,08$$

$$\text{Payback} = 5,24 \text{ Años}$$

El tiempo en recuperar la inversión es de 5 años con 87 días aproximadamente.

3.3 Simulación del fluido en la tubería

Para la simulación se utiliza el software SOLIDWORKS con la herramienta FloXpress, que es una herramienta de análisis de flujo cualitativo que proporciona información sobre el flujo de agua que existe dentro de una tubería.

3.3.1 Datos que se ingresan para la respectiva simulación

Tipo de fluido: Agua a 288.15 °K o 15°C.

Presión de ingreso para la simulación: 1795230 Pa o 260 psi.

Presión de salida: 101325 Pa o 14.7 psi (presión atmosférica).

3.3.2 Tabla de coordenadas y puntos de la trayectoria de la tubería

Tabla 37
Coordenadas de la tubería de análisis

Código	Coordenada en y	Coordenada en x	Coordenada en z	Descripción
P1	9894753	734053	3427	Salida de flujo agua
P2	9894757	734050	3428	
P3	9894767	734049	3429	
P4	9894783	734050	3430	Curva de análisis del flujo
P5	9894785	734062	3436	Curva de análisis del flujo
P6	9894793	734076	3440	
P7	9894817	734098	3457	
P8	9894827	734108	3458	
P9	9894834	734116	3459	
P10	9894843	734144	3459	
P11	9894852	734178	3461	
P12	9894875	734244	3462	Curva de análisis del flujo
P13	9894895	734274	3466	
P14	9894920	734331	3491	
P15	9894936	734371	3515	
P16	9894946	734401	3537	
P17	9894956	734439	3552	
P18	9894961	734455	3557	Curva de análisis del flujo
P19	9894984	734473	3564	
P20	9894991	734480	3582	
P21	9894996	734485	3601	
P22	9895001	734491	3610	Llegada del flujo agua

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.2.1 Trayectoria de la tubería de simulación



Figura 24. Trayectoria tubería. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.3 Punto 1 de salida

La Figura 25, el flujo por todo el contorno de la tubería es de color verde, amarillo y azul, se aproxima a una velocidad de 0.2 m/s lo que significa que es bueno porque es la velocidad mínima en el sistema.

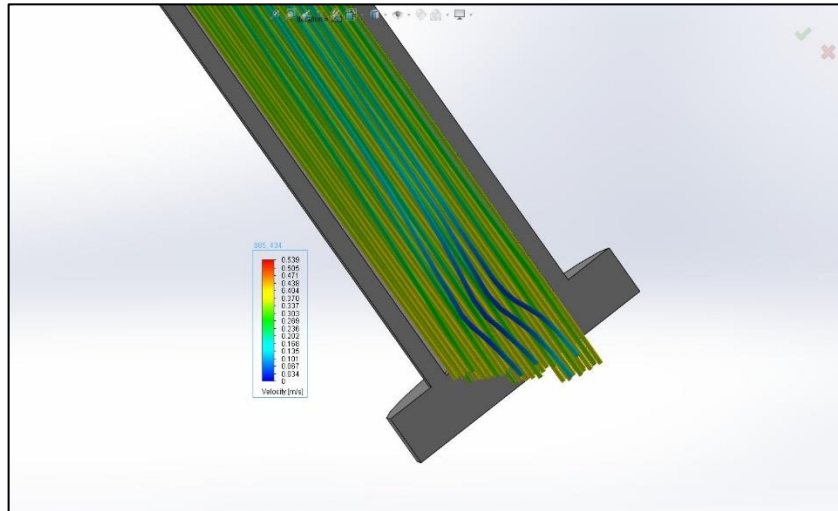


Figura 25. Análisis de velocidad del fluido en punto de salida. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.4 Curva en el punto 4 de la trayectoria de la tubería

En la Figura 26 se observa que el fluido cambia de color verde a amarillo, existe un aumento de velocidad, se compara con Tabla 23 de velocidades, se obtiene una velocidad promedio de 0.3 m/s, además la cantidad de flujo empieza a disminuir.

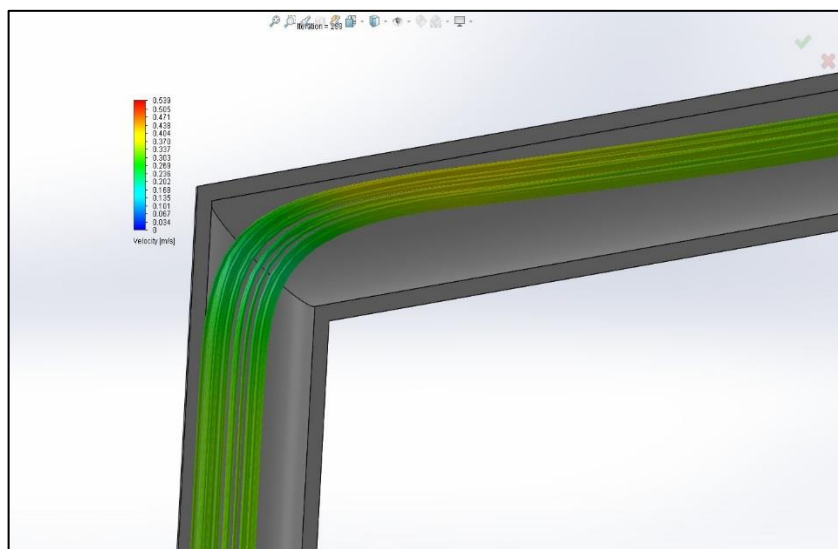


Figura 26. Análisis de velocidad del fluido en punto 4. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.5 Curva en el punto 5 de la trayectoria de la tubería

En la Figura 27, se observa un cambio de color en el fluido de verde a amarillo, por tal motivo aumenta la velocidad aproximadamente a 0.33 m/s.

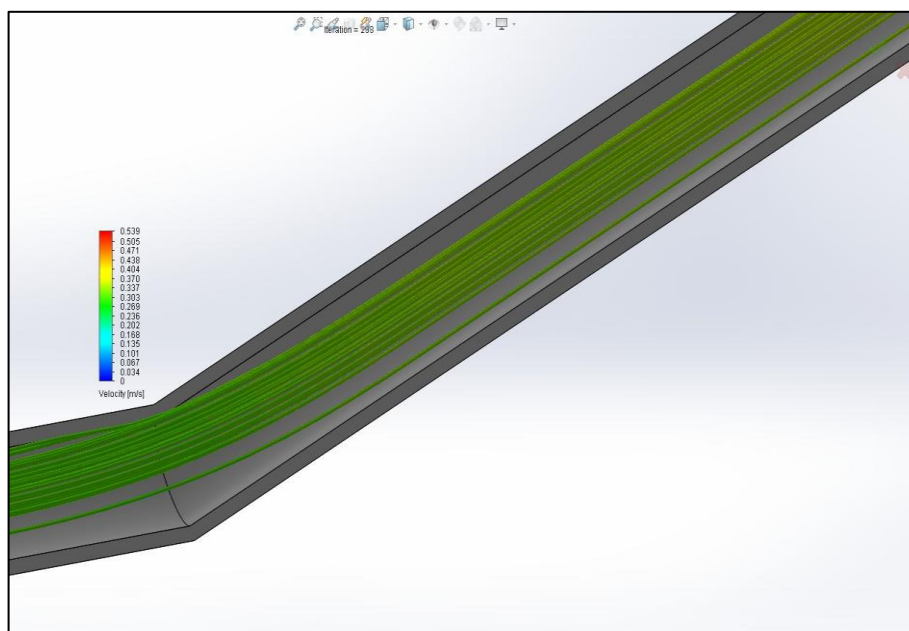


Figura 27. Análisis de velocidad del fluido en punto 5. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.6 Curva en el punto 6 de la trayectoria de la tubería

La Figura 28, muestra una disminución de cantidad de flujo en la tubería con una velocidad de 0.20 m/s promedio.

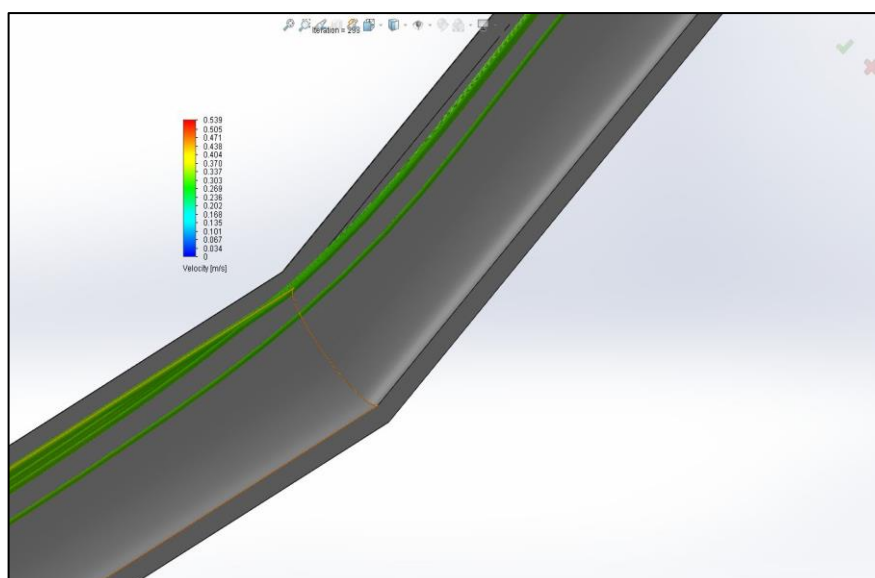


Figura 28. Análisis de velocidad del fluido en punto 6. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.7 Curva punto 12 de la trayectoria de la tubería

En la Figura 29, se observa que el flujo de agua en la tubería es bajo, este punto está a una altura de 35 M.C.A desde el P1, la velocidad sigue de color verde en el rango de 0.20 m/s.

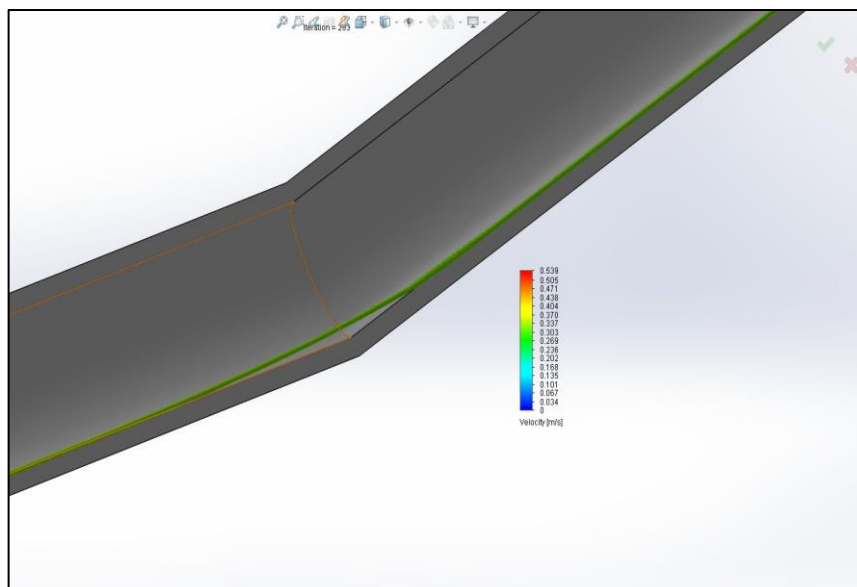


Figura 29. Análisis de velocidad del fluido en punto 12. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.8 Curva punto 18 de la trayectoria de la tubería

En la Figura 30, se observa que el flujo sigue bajo, con velocidad constante de 0.20 m/s porque tiene un color verde.

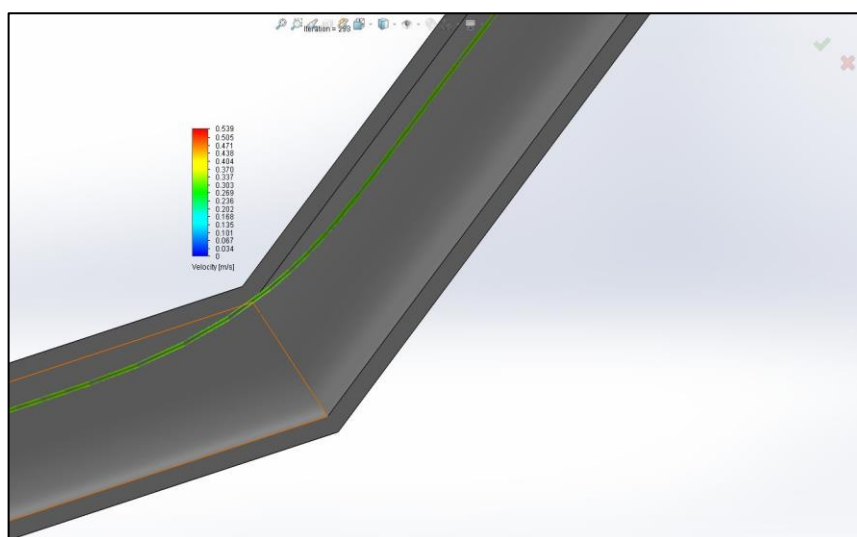


Figura 30. Análisis de velocidad del fluido en punto 18. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.3.9 Curva punto 22

En la Figura 31, se observa que la velocidad promedio del fluido se mantiene en rango de 0.20 m/s, el flujo de salida al tanque es menor que el flujo de salida de la bomba ZM Maxxi 51.

Esta simulación cumple con la principal característica de este tipo de sistema de bombeo con la bomba ZM Maxxi 51, que es bajo caudal.

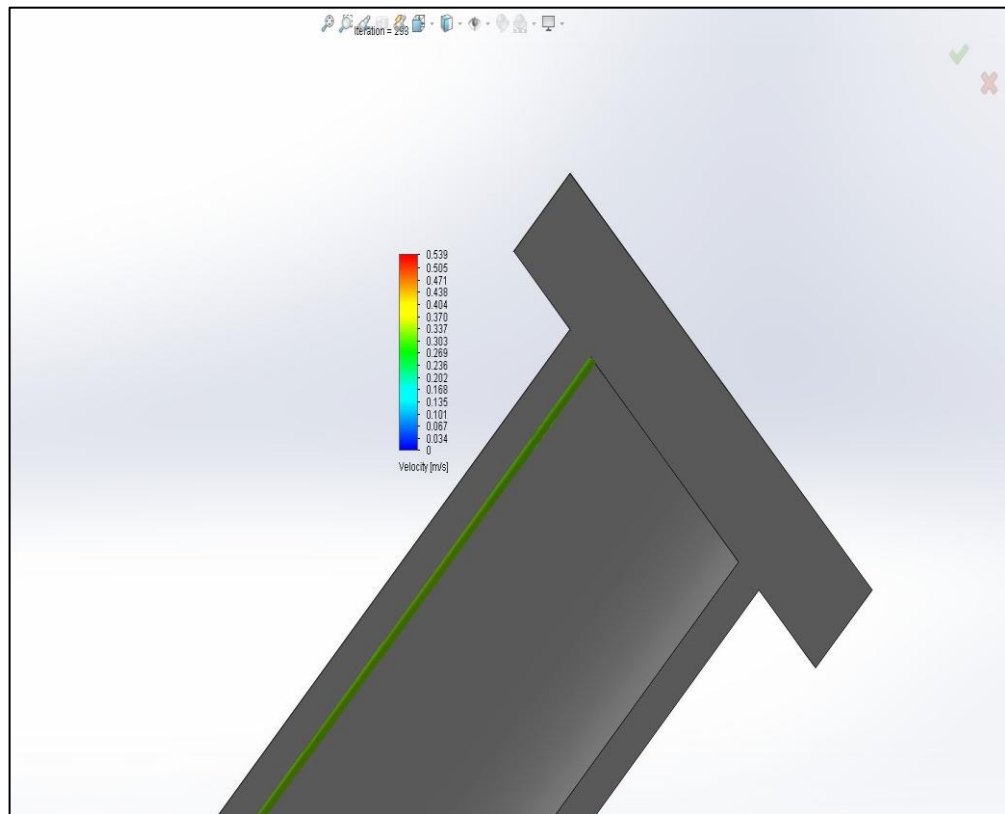


Figura 31. Análisis de velocidad del fluido en punto 22. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.4 Caudal de llegada al final de la simulación

Se aplica ecuación $Q = V \cdot A$, [18] al reemplazar los valores obtenidos en la Tabla 38, se determina un caudal teórico de simulación de 9316,17 litros por día, que está en el rango de estudio requerido, al final se realizara un comparación con el caudal real de llegada con el sistema puesto en funcionamiento.

Tabla 38
Caudal de simulación

Descripción	Medida
Diámetro de tubería del fluido de descarga (plg)	1
Diámetro interno en (m) tablas	0,026
Área de flujo (m ²)	0,00053913
Velocidad de la simulación (m/s)	0,20
Caudal de llegada (m ³ /s)	0,000107826
Caudal de llegada (l/h)	388,17
Caudal de llegada (l/día)	9316,17

Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

3.5 Caudal de llegada al tanque real

El caudal real en el sistema de bombeo, es de 10080 litros por día, este caudal está en el rango de caudal necesario para el proyecto.



Figura 32. Llenado del tanque con el sistema de bombeo

CONCLUSIONES

El sistema que se utiliza es el adecuado porque en los cálculos teóricos el caudal mínimo es 7000 litros por día, el caudal real a la salida del sistema de bombeo es de 10080 litros/día existiendo una aumento de 44 % de caudal.

La rueda a utilizar en el sistema tiene un diámetro de 1.80 m y un ancho de 25 centímetros, el rendimiento de esta rueda es del 85 % dentro del rango establecido.

La bomba requerida para este sistema es la bomba de pistón ZM MAXXI 51, con la rueda de diámetro 1.80 metros, el rendimiento de esta bomba es del 59 %, que garantiza su correcto trabajo.

El caudal real es de 7 lt/min, siendo superior al caudal mínimo requerido de 3.8 lt/min, este valor es bueno para el proyecto, porque se tiene un caudal mayor para abastecer el consumo de agua.

El costo de inversión del proyecto es de 8566,21 dólares, se compara con una bomba sumergible Franklin Electric de 5 HP que tiene similares características a la bomba ZM Maxxi 51, se comprueba que existe un ahorro anual de 1633.08 dólares por consumo de energía eléctrica. La inversión del proyecto se recupera en 5 años con 87 días.

RECOMENDACIONES

Realizar instalación adicional de sistema de bombeo con rueda hidráulica - bomba de pistón ZM Maxxi 76, el tanque desarenador tiene la tubería para satisfacer la instalación de otro equipo y aumentar así el caudal disponible para su respectivo uso.

Siempre mantener la llave de salida de la bomba abierta, nunca se debe cerrar cuando el sistema esté en operación porque la bomba es un equipo reciprocante que aumenta la presión por cada revolución que de la rueda hidráulica al sistema.

Realizar mantenimiento preventivo cada año para evitar daños en las piezas de la bomba Zm Maxxi 51, y verificar su respectiva lubricación, como se indica en los anexos de mantenimiento.

Hacer una limpieza del tanque desarenador según lo requiera, debido a la acumulación de arena y residuos que trae el río.

REFERENCIAS

- [1] OMS, «CEPES, Fuentes de abastecimiento,» 1972. [En línea]. Available: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf. [Último acceso: 24 Marzo 2017].
- [2] Academia, «Academia,» Academia, 2012. [En línea]. Available: http://www.academia.edu/8014551/BOMBA_CENTR%C3%8DFUGA_DEFINICI%C3%93N_Las_Bombas_centro%C3%ADfugas_tambi%C3%A9n_llamadas_Rotodin%C3%A1micas. [Último acceso: 15 Marzo 2017].
- [3] Pedrollo, «Electrobombas,» [En línea]. Available: http://www.pedrollo.com.mx/public/allegati/PK_ES_60Hz.pdf. [Último acceso: Febrero Marzo 2017].
- [4] F. ELECTRIC, «FRANK ELECTRIC,» [En línea]. Available: <https://franklinlinkmx.files.wordpress.com/2012/10/pozo5.png>. [Último acceso: 02 Abril 2018].
- [5] Hidroservicios, «Bomba sumergible Grundfos 85s150-10 (6"),» 2011. [En línea]. Available: <http://hidroserviciosambientales.com/85s150-10-6-440-nrc>. [Último acceso: 24 Marzo 2017].
- [6] Waterymex, «Seminario Bombas,» 24 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://waterymex.org/seminario2010/2-9%20Bomba%20turbina%20vertical.pdf>. [Último acceso: 17 Marzo 2017].
- [7] Envisupply, «Grundfos product guide,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.envisupply.com/pdf/SP%20Product%20Guide.pdf>. [Último acceso: 24 Marzo 2017].
- [8] Lelu, «Neetescuela,» Neetescuela, 2013 Junio 03. [En línea]. Available: <https://neetescuela.org/rueda-hidraulica/>. [Último acceso: 2017 Febrero 08].
- [9] Viarural, «Bombas Zm,» [En línea]. Available: <http://www.viarural.com.ec/agricultura/bombas-para-riego/zm-bombas/bombas.htm>. [Último acceso: 24 Marzo 2017].

- [10] «Energía Hidráulica,» [En línea]. Available: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/hidraulica.htm. [Último acceso: 27 3 2017].
- [11] J. C. Godoy Aayestas, «Bombeo a base de ruedas hidráulicas,» [En línea]. Available: www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/ponencia10.pdf. [Último acceso: 27 03 2017].
- [12] «Rueda Hidráulica,» [En línea]. Available: <https://neetescuela.org/rueda-hidraulica/>. [Último acceso: 04 Abril 2017].
- [13] V. A. Herrera Armijos, «Diseño y construcción de una riobomba para riego del las quintas del área agropecuaria y de recursos naturales renovables,» 5 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12324>. [Último acceso: 19 4 2017].
- [14] L. F. Ramón Chamba y D. X. Vallejo Herrera, «Diseño y construcción de un ariete y de una rueda hidráulica para bombeo de agua en la granja experimental San Marcos del HCPD,» de *Diseño y Construcción*, Quito, ESPE, 2005, pp. 44-46.
- [15] BOMBAS ZM, «Manual de operacion bombas ZM,» [En línea]. Available: <http://www.zmbombas.com/manual-bombas.pdf>. [Último acceso: 11 05 2017].
- [16] CEPES, «Centro Peruano de Estudios Sociales,» 30 05 2016. [En línea]. Available: www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf. [Último acceso: 07 04 2017].
- [17] C. Mataix, *Mecanica de fluidos y Maquinas hidraulica*, Madrid: Del castillo S.A, 1986, p. 469.
- [18] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, México: Pearson Educación, 2006, p. 382.
- [19] S. Share, «Orificios y Vertederos,» [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/dilberzhito/orificios-y-vertederos>. [Último acceso: 20 04 2017].
- [20] A. A. Cardona, «La Rueda Hidraulica,» *Revista Facultad De Agronomia*, vol. XXXVIII, n° 2, p. 15, 1985.

- [21] A. A. Cardona, «La Rueda Hidraulica,» *Revista Facultad Nacional De Agronomia*, vol. XXXVIII, n° 2, p. 14, 1985.
- [22] D. X. Vallejo y L. F. Ramón, «Diseño y construcción de un ariete y una rueda hidráulica para bombeo de agua en la granja experimental San Marcos del HCPP,» Escuela Politécnica del Ejército, 9 2005. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/969/1/T-ESPE-027593.pdf>. [Último acceso: 04 04 2017].
- [23] A. A. Cáceres Paéz, «Diseño y construcción de una rueda hidráulica para impulsar agua desde una vertiente con mediano caudal,» Universidad Politecnica Salesiana, Abril 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9244/1/UPS-KT01148.pdf>. [Último acceso: 20 05 2017].
- [24] M. Viejo Zubicaray y J. Alvarez Fernandez, Bombas, teoría, diseño y aplicaciones, Mexico: Limusa Noriega, 2003.
- [25] R. A. Cordova, «Diseño y construccion de un sistema rueda hidraulica-bomba,» Universidad Politecnica Nacional, 11 2006. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/420/1/CD-0400.pdf>. [Último acceso: 15 06 2017].
- [26] Hidro Metalúrgicas ZM Ltda., «ZM Bombas curvas características,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.carrerirrigacao.com.br/admin/files/arquivos/103/curvas-zm.pdf>. [Último acceso: 20 Abril 2017].
- [27] Carrerirrigacao, «Curvas ZM,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.carrerirrigacao.com.br/admin/files/arquivos/103/curvas-zm.pdf>. [Último acceso: 20 Abril 2017].
- [28] R. V. Giles, «Mecánica de los fluidos e Hidráulica,» de *Mecánica de los fluidos e Hidráulica*, España, S.A Mc Graw-Hill, 1994, pp. 225-230.
- [29] EMMSA, «Tuberia de PVC cédula 40,» [En línea]. Available: <http://www.emmsa.com/admin/img/servicio-cliente/ft-tuberia-c40.pdf>. [Último acceso: 10 12 2017].

- [30] Moreno, «TUBERIA MORENO,» Moreno, 2017. [En línea]. Available: <http://www.tuberiamoreno.com/productos/hidraulico/tubo-galvanizado-norma-x-cedula-40>. [Último acceso: 24 Octubre 2017].
- [31] M. Robert, Mecánica de Fluidos Aplicada, México: Prentice Hall, 1996.
- [32] PLASTIGAMA, «SITIO.PLASTIGAMA,» PLASTIGAMA, [En línea]. Available: http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Triptico_NOVAFORT_2017.pdf. [Último acceso: 14 MAYO 2018].
- [33] C. L. VICTOR AYALA, Diseño y construcción para una máquina semiautomática para recargar extintores de PQS desde 1kg hasta 45kg., Quito: UPS, 2018.
- [34] P. d. L. T. D. Gualichico Diego, Diseño y construcción de un carrete para enrollar alambre de conexión eléctrica tipo ACAR Calibre 750 MCM, Quito: UPS, 2018.
- [35] Slideshare, «Calculo Van y TIR,» Slideshare, 21 03 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/elizmaragreda/calculo-del-van-y-el-tir>. [Último acceso: 14 05 2018].
- [36] Movistar, «Que es Payback,» Movistar, 2015. [En línea]. Available: <http://destinonegocio.com/economia/enterate-que-es-payback-y-como-calcularlo/>. [Último acceso: 15 05 2018].
- [37] 12 mayo 2014. [En línea]. Available: carol.32@hotmail.es.
- [38] Bulmaro, 14 mayo 2014. [En línea]. Available: <http://comohacer.eu/como-hacer-un-tornillo-de-arquimedes/>.
- [39] F. Vargas, 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://5hertz.com/tutoriales/?p=690>.
- [40] L. G. S. Acosta, «Escuela de Ingeniería de Antioquía,» EIA, 09 Diciembre 2009. [En línea]. Available: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombashidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html>. [Último acceso: 08 Febrero 2017].

- [41] C. d. l. compresores, «Centro de los compresores S.A.», Centro de los compresores, [En línea]. Available: <http://www.centrodeloscompresores.com.py/producto.php?id=774>. [Último acceso: 08 Febrero 2017].
- [42] EcoInventos, «Ecoinventos green technology,» Ecoinventos, 17 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://ecoinventos.com/bomba-agua-sin-combustible-capaz-bombear-45-000-litros-dia/>. [Último acceso: 09 Febrero 2017].
- [43] Rochfer, «Bomba Ultra MS-51,» Rochfer, [En línea]. [Último acceso: 09 Febrero 2017].
- [44] E. Regante, «Tubería PVC,» Hispavista, 2006. [En línea]. Available: <http://galeon.com/elregante/pvc.html>. [Último acceso: 09 Febrero 2017].
- [45] Slideshare, «Módulo Bombas,» slideshare, 12 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/JHONRUBIO/presentac1bombas>. [Último acceso: 16 Marzo 2017].
- [46] C. f. que, «Motor Eléctrico,» Como funciona que, 05 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://comofuncionaque.com/como-funciona-el-motor-electrico/>. [Último acceso: 17 Marzo 2017].
- [47] Watergymex, «Bombas verticales,» 07 Febrero 2010. [En línea]. Available: http://watergymex.org/seminario2010/2-7%20VERTICAL%20TURB%20STD_Sept2010.pdf. [Último acceso: 17 Marzo 2017].
- [48] Z. Bombas, «Zm bombas Maxxi,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.zmbombas.com/bombas/>. [Último acceso: 24 Marzo 2017].
- [49] « Alternative Energy Tutorials,» Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html>. [Último acceso: 2017 Abril 2017].
- [50] O. W. Monson y J. Armin, «Overshot and Water Wheels,» de *Servicio de selecciones tecnicas*, 1942, p. 124.
- [51] O. W. Monson y J. Armin, «Overhot and Current Water Wheels,» de *Servicio de selecciones Técnicas*, 1942, p. 126.

- [52] «Aforo Volumetrico,» [En línea]. Available: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/aforo-volumetrico.html>. [Último acceso: 07 04 2017].
- [53] R. Córdova, Escritor, *Tesis Diseño y construcción de un sistema rueda hidráulica bomba..* [Performance]. EPN, 2006.
- [54] C. Mataix, «Mecanica de fluidos y Maquinas hidraulcas,» Madrid, Del Castillo S.A, 1986, p. 494.
- [55] B. Agrario, «Tubería,» Boletín Agrario, [En línea]. Available: <https://boletinagrario.com/ap-6,tuberia,736.html>. [Último acceso: 08 Mayo 2017].
- [56] viarural, «Bomba ZM maxxí,» [En línea]. Available: <http://www.viarural.com.ve/agricultura/bombas-para-riego/zm-bombas/bombas.htm>. [Último acceso: 11 mayo 2017].
- [57] A. A. Cardona, «La rueda hidráulica,» *Revista Facultad Nacional De Agronomia*, vol. XXXVIII, n° 2, p. 14, 1985.
- [58] A. Alvarez Cardona, «La Rueda Hidráulica,» 1985. [En línea]. Available: http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/rueda_hidraulica/rueda_hidraulica.html. [Último acceso: 4 4 2017].
- [59] H. Luis, «Construcción y ensayo de una rueda hidráulica de corriente libre de 2 m de diámetro,» 11 2009. [En línea]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/390/HEREDIA_LUIS_CONSTRUCCION_RUEDA_HIDRAULICA_CORRIENTE_LIBRE.pdf?sequence=2. [Último acceso: 15 4 2017].
- [60] H. A. V. Alexandra, *Diseño y construcción de una riobomba de riego para las quintas del área agropecuaria y de recursos naturales renovables*, Loja: Universidad Nacional de LOja, 2011, p. 4.

ANEXOS

Anexo: 1



Figura 33. Vista del proyecto. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 34. Captación agua del río. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 35. Tubería de conducción del agua al tanque desarenador. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 36. Montaje rueda hidráulica y bomba. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 37. Escavación de zanja para de tubería conducción. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 38. Conexión válvula check con tubo de salida de aire. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 39. Llegada de la tubería al tanque de distribución por gravedad. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 40. Ingreso agua de la vertiente. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 41. Prueba de llenado tanque desarenador. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 42. Caída de agua a la rueda hidráulica. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 43. Funcionamiento del sistema. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe



Figura 44. Medición caudal agua de llegada al tanque. Elaborado por: Franklin Guaña y Edgar Quishpe

Anexo: 2

MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

1. Revisar que la bomba y rueda esté libre de palos, hierros u otros objetos que no permitan que gire la rueda.
2. Revisar que todas las válvulas en la salida de la bomba estén abiertas excepto la de purga.
3. Abrir compuerta de tanque de captación para ingreso de agua de río.
4. Revisar que el agua de río llegue al tanque desarenador.
5. Esperar que el tanque desarenador este lleno para que empiece a fluir agua hacia la rueda de la bomba.
6. Revisar que la rueda empiece a girar hasta obtener las revoluciones requeridas.
7. Revisar que el fluido de agua llegue al tanque de reserva de repartición.
8. Si no se utiliza el sistema de bombeo, cerrar la compuerta del tanque de captación, para que no gire la rueda.
9. No parar la rueda con palos, hierro u otros objetos.
10. No olvidar el cambio de aceite de acuerdo con el plazo especificado en el manual.
11. El mantenimiento del equipo, no hacer con el equipo funcionando.
12. No succionar agua con impurezas (arena u otras basuras).

MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBA ZM MAXXI

Se recomienda efectuar el mantenimiento preventivo para mantener la bomba en perfecto funcionamiento y posibilitar mayor vida útil [15].

Cambio del aceite del carter.

Las bombas ZM bombas son lubricadas por batimiento, manteniendo todo el sistema mecánico dinámico lubricado. El primer cambio de aceite debe efectuarse al final del sexto mes que la bomba esté en funcionamiento. Los cambios posteriores deberán efectuarse cada 12 meses, utilice aceite SAE 90. "ver Tabla 39- Capacidad de aceite en el carter" [37].

Compruebe el nivel del aceite cada 30 días. Al sustituir el aceite almacene el mismo en un recipiente adecuado, NO TIRE EL ACEITE USADO EN LA NATURALEZA.

Tabla 39							
Cantidades de aceite en el carter Bomba ZM Maxxi							
Modelo de la bomba	IP 38	ZM 38	ZM 44	ZM 51	ZM 63	ZM 76	ZM 95
Capacidad en litros	1,0	2,0	1,3	2,0	2,0	3,0	3,0

Para el cambio de aceite siga las instrucciones:

- A. Pare la bomba reteniendo el flujo de agua sobre la rueda [15].
- B. Retire el tapón B del carter, como se muestra en la Figura 45, deje el aceite vaciar en un recipiente adecuado.
- C. Retire la tapa del carter y haga la inspección si el mecanismo (biela rodillo y vástago) se encuentra en perfectas condiciones [15].
- D. Vuelva a colocar la tapa del carter junto con el anillo o'ring y el tapón B.
- E. E Retire el tapón A que está sobre el cojinete (ver Figura 46), y coloque el aceite en la cantidad indicada en la Tabla 39.
- F. Libere el flujo de agua sobre la rueda.



Figura 45. Retiro tapón de aceite B [15]

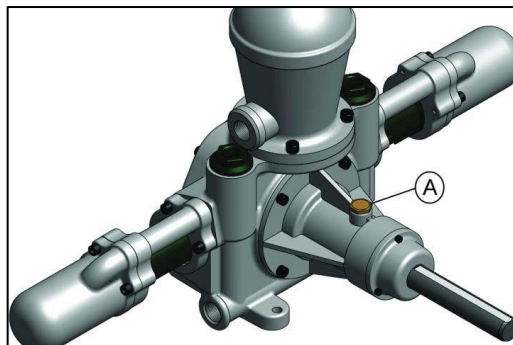


Figura 46. Retiro tapón de aceite A [15]

Sustitución del sistema de bombeo (courus)

La vida útil de los cueros dependerá de la calidad del agua a ser bombeada, siendo posible presentar durabilidad entre 6 a 12 meses. La sustitución de los mismos debe

ser efectuada cuando el rendimiento hidráulico (volumen de agua bombeada) no sea satisfactorio [15].

No lubricar los courus con grasa, aceite u otros productos de lubricación, use solamente vaselina.

Para sustituir los courus siga las instrucciones:

- A. Afloje los tornillos de fijación de la camisa, retire la camisa.
- B. Retire el cilindro junto con el anillo o'ring.
- C. Afloje la tuerca y, retire la arandela, soporte de los courus, separador de los courus. Compruebe los detalles de los componentes de la figura 34. NOTA: Al sustituir los courus verifique la camisa internamente si ésta está en buen estado, al contrario reemplace [15].
- D. Para el montaje de los courus, inserte la arandela lisa en el vástago, apoyo del courus, courus (verifique la posición), separador del courus, courus (verifique la posición), soporte del courus, arandela lisa y, por fin apriete la tuerca sin duda.

Ver detalles Figura 47: se recomienda utilizar courus originales, courus de mala calidad podrán frenar el sistema [15].

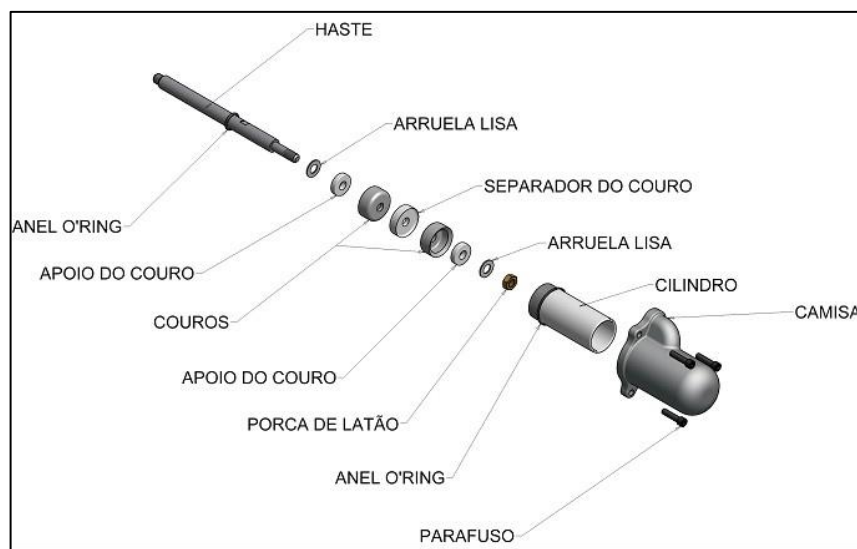


Figura 47. Sistema de bombeo. [15]

Limpieza de las válvulas

La limpieza de las válvulas sólo es necesaria cuando el rendimiento hidráulico (volumen de agua bombeada) no es satisfactorio [15]. Al efectuar la limpieza de las válvulas verifique si las mismas están sellando perfectamente, al contrario sustituya.

Para efectuar la limpieza o la sustitución de las válvulas siga las instrucciones:

- A. Retire el matraz (válvulas de presión), la caja de válvula (o tapa de la válvula modelo MAXXI 44). Ver Figuras 48 o 49.

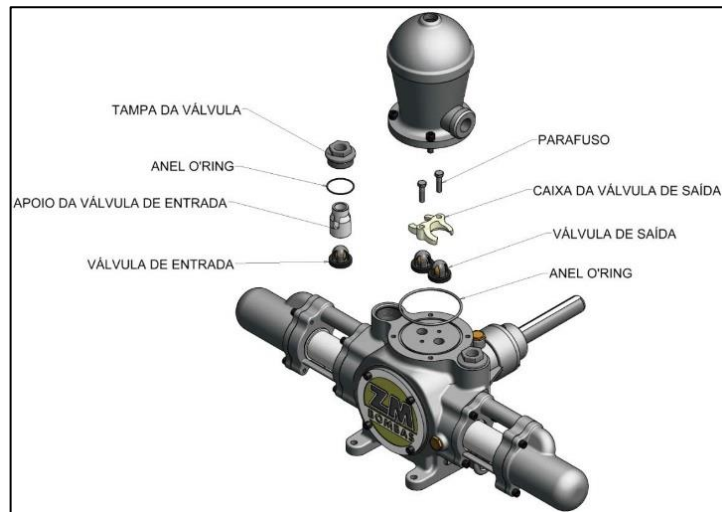


Figura 48. Sistema de válvulas Maxxi [15]

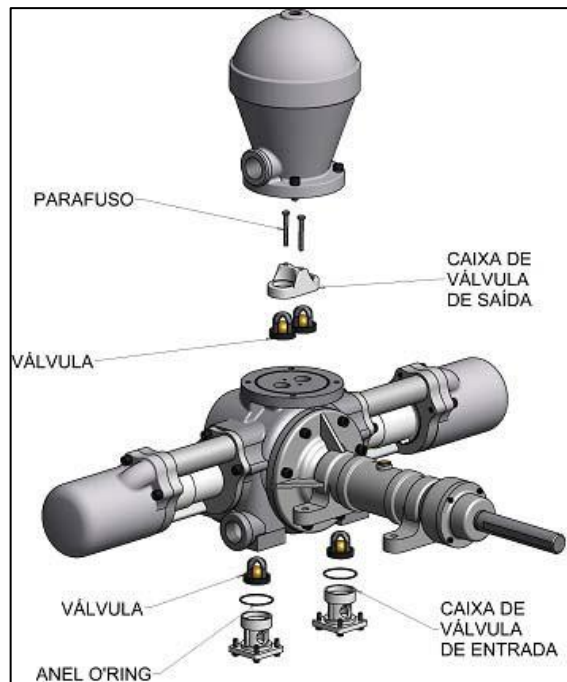


Figura 49. Sistema de válvulas otros modelos [15]

- B. Al volver a colocar las válvulas observe el posicionamiento de las mismas, así como la colocación de los anillos o-rings.
- C. Coloque la bomba en funcionamiento y verifique su funcionalidad, si la bomba no funciona adecuadamente, revise el mantenimiento de las válvulas observando si no está faltando ningún componente, principalmente anillo o-ring.

Posibles problemas, causas y soluciones

PROBLEMAS	CAUSAS	SOLUCIONES
La rueda gira y para intercaladamente [15].	Poco caudal de agua para mover la rueda	Aumentar el volumen de agua para mover la rueda, o cambiar el recorrido de los pistones.
La bomba funciona pero no bombea agua [15].	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suciedad en las válvulas. 2. Entrada de aire. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar la manguera de succión e instalar el filtro de arena ZM Bombas [15]. 2. Limpiar las válvulas retirando la suciedad. 3. Eliminar la entrada de aire en la succión, comprobando las conexiones y si no hay altibajos en el tubo de succión [15]. 4. Efectuar la regulación de los courus, abriendo los laterales de los courus o cambiando las mismas [15]. 5. Para probar la presión de la bomba, tapar la salida por 30 a 40 segundos como máximo, si la rueda disminuye la rotación y casi parar el sellado de la bomba es correcta, en este caso la caña debe estar agujereada, si la rueda no pare comprueba las válvulas y courus de la bomba [15].
La bomba no succiona agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diferencia de nivel entre la Bomba y el agua que succiona, superior a 7 metros. 2. Problemas con las válvulas. 3. Couros desgastados. 4. Fuente de captación del agua que se va a succionar encima del nivel de la bomba, entrando con presión impidiendo el cierre de las válvulas de succión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá colocar la válvula de retención vertical (cebollita) y llenar el tubo de agua antes del funcionamiento [15]. 2. Comprobar la suciedad en las válvulas o válvulas obstruidas [15]. 3. Efectuar el cambio de courus. 4. Realice la instalación de la fuente de captación con un nivel inferior al de la bomba [15].
La bomba bombea agua a chorros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas en las válvulas. (Solamente de un lado). 2. Courus desregulados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar suciedad en las válvulas o válvulas obstruidas. 2. Efectuar el ajuste de los courus, abriendo los mismos [15].
Producción (caudal) de bomba insuficiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Courus desgastados. 2. Poco caudal de agua en la rueda. 3. Válvulas desgastadas. 4. Producción de agua de vertiente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambiar courus. 2. Verificar si la producción de agua es compatible con la rotación de la rueda. En caso positivo, la producción sólo aumentará con el aumento de caudal de agua en la rueda [15]. 3. Realizar el cambio de las válvulas. 4. Buscar otra fuente de agua [15].